

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ  
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**<<Μοντέλα νευρωνικών δικτύων στην προσομοίωση παραμέτρων  
ποιότητας και ποσότητας του νερού σε υδατορεύματα>>**

**Αναστάσιος Μαχαίριδης**

**ΒΟΛΟΣ, 2012**

**<< Μοντέλα νευρωνικών δικτύων στην προσομοίωση παραμέτρων ποιότητας  
και ποσότητας του νερού σε υδατορεύματα >>**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

- 1) **Αρης Ψιλοβίκος**, Επίκουρος Καθηγητής, Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων***,
- 2) **Ιφιγένεια Κάγκαλου**, Επίκουρος Καθηγήτρια, Υδρολογία, Λιμνολογία και Ποταμολογία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***,
- 3) **Κωνσταντίνος Σκόρδας**, Λέκτορας, Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***.

*Η παρούσα διατριβή αφιερώνεται στην οικογένεια μου και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση σε όλη την διάρκεια της φοιτητικής μου ζωής καθώς και στον Αντώνη Σέντα που αποτελεί τον κύριο λόγο υλοποίησης της πτυχιακής..*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη ασχολείται με την εφαρμογή τεχνητών νευρωνικών δικτύων στον Πηνειό ποταμό. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούν χρονοσειρές εννέα φυσικών και χημικών παραμέτρων από μετρήσεις στον Πηνειό ποταμό (Θεσσαλίας-Ελλάδα). Η εφαρμογή τους έγινε μέσω του στατιστικού προγράμματος SPSS 19 το οποίο παρέχει την δυνατότητα μοντελοποίησης και πρόβλεψης. Αρχικά, γίνεται μια εισαγωγή στην σημασία των υδάτινων πόρων στην ζωή του ανθρώπου και πως επηρεάζονται τα συστήματα από της ευρεία χρήση τους από τον άνθρωπο επιφέροντας τόσο θετικές όσο και αρνητικές επιπτώσεις στα υδατικά οικοσυστήματα. Συγκεκριμένα εμφανίζονται στοιχεία σχετικά με τα ποτάμια οικοσυστήματα, την σημασία των υδάτων, τα υδρολογικά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας καθώς και πληροφορίες που αφορούν την περιοχή μελέτης της διατριβής. Μέσα από αυτά, γίνεται κατανοητή η ενασχόληση με τους υδατικούς πόρους αφού η σημαντικότητα τους είναι τεράστια. Έπειτα, παρουσιάζονται μια σειρά θετικών επιδράσεων από την χρήση των νευρωνικών σε διάφορους τομείς, όπως για παράδειγμα στον τομέα της ιχθυολογίας και της υδρολογίας εμφανίζοντας έτσι την θετική επίδραση που προκύπτει από την χρήση των νευρωνικών δικτύων. Παράλληλα, από τις μελέτες περιπτώσεων που εμφανίζονται γίνεται μια συσχέτιση με άλλα στατιστικά προγράμματα με σκοπό την σύγκριση των αποτελεσμάτων. Τέλος, εμφανίζεται το πρακτικό κομμάτι, η χρήση δηλαδή των νευρωνικών με το στατιστικό πρόγραμμα SPSS 19, και τα αποτελέσματα. Εν κατακλείδι, αυτό που προκύπτει είναι πως η μοντελοποίηση επιφέρει μεγάλες θετικές επιδράσεις σε στοιχεία τα οποία έχουν μεγάλη

πολυπλοκότητα και έχουν μεγάλο όγκο, και αυτό επιτυγχάνεται με μεγάλη ακρίβεια μέσω των τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Επίσης η ικανότητα των νευρωνικών για πρόβλεψη στοιχείων είναι ιδιαίτερα επιτυχής και για τον λόγο αυτό η δυνατότητα εφαρμογής τους επεκτείνεται σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών.

**Λέξεις Κλειδιά:** Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ), υδατικοί πόροι, μοντελοποίηση.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1 Σκοπός της μελέτης.....	2
1.2 Χαρακτηριστικά και ιδιότητες του νερού.....	3
1.2.1 Ποιότητα νερού.....	4
1.3 Ποτάμια οικοσυστήματα.....	5
1.4 Υδρογεωγραφικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας .....	7
1.4.1 Πηνειός ποταμός .....	8
1.5 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα.....	9
2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	10
2.1 Περιοχή Μελέτης.....	11
2.1.1 Πηνειός-Ιστορική Αναδρομή.....	11
2.1.2 Γεωγραφική Θέση- Γενικά Χαρακτηριστικά .....	12
2.1.3 Χρήσεις του Ποταμού στην Θεσσαλία .....	16
2.1.4 Κλιματολογικές Συνθήκες.....	17
2.1.5 ΙχθυοπανίδαΠηνειού .....	18
2.2 Παράμετροι ανάλυσης .....	19
2.2.1 Παροχή (Q).....	19
2.2.2 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC).....	20
2.2.3 Θερμοκρασία (T).....	21
2.2.4 Ενεργός Οξύτητα (pH).....	22
2.2.5 Συγκέντρωση Διαλυμένου Οξυγόνου (DO) .....	24
2.2.6 Νιτρικά, Αμμωνιακά, Φωσφορικά (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>3</sub> , TP) .....	25

2.3 SPSS (Statistical Package for Social Sciences).....	27
2.4 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα .....	28
2.4.1 Εφαρμογές τεχνητών νευρωνικών δικτύων.....	32
2.4.2 Αρχές τεχνητών νευρωνικών δικτύων .....	34
2.4.3 Μελέτες Περιπτώσεων .....	35
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	43
3.1 Διαδικασία Εφαρμογής ΤΝΔ .....	43
3.2 Εφαρμογή των ΤΝΔ στην περιοχή μελέτης.....	53
3.2.1 Πρώτο σύνολο κόμβων εισόδου .....	55
3.2.2 Δεύτερο σύνολο κόμβων εισόδου .....	57
3.2.3 Τρίτο σύνολο κόμβων εισόδου .....	59
3.2.4 Τέταρτο σύνολο κόμβων εισόδου .....	61
3.3 Προτεινόμενο Μοντέλο .....	63
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	64
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	72



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι υδατικοί πόροι συγκέντρωσαν από αρχαιοτάτους χρόνους το ενδιαφέρον της ανθρωπότητας, ενώ η επιθυμία των ανθρώπων να δαμάσουν τη δύναμη των στοιχείων της φύσης είχε ως αποτέλεσμα την ενσωμάτωση της αξιοποίησης των υδατικών πόρων στην καθημερινότητα των λαών. Συνεπώς, με την πάροδο του χρόνου αρκετές ανθρώπινες δραστηριότητες βασιζόμενες στην αξιοποίηση των υδατικών πόρων έκαναν την εμφάνισή τους. Εξάλλου δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι οι πρώτοι πολιτισμοί εμφανίστηκαν σε παραποτάμιας και παραθαλάσσιες περιοχές (Fytianos et al 2001).

Η αλόγιστη εκμετάλλευση των υδατικών πόρων από τους ανθρώπους είχε ως αποτέλεσμα την ρύπανση των λεκανών απορροής τους σε μεγάλο βαθμό. Οφείλεται κατά κύριο λόγο σε μια σειρά φυσικών και ανθρωπογενών διεργασιών όπως είναι η διάβρωση και αποσάθρωση πετρωμάτων από τη μία και η αγροτική εκμετάλλευση, ρύπανση από αστικά και γεωργικά λύματα και άλλα. Τα προβλήματα που απορρέουν είναι πολλά και χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης με σκοπό την αντιμετώπιση των επιπτώσεων που προκύπτουν, τόσο στους υδρόβιους οργανισμούς που διαβιούν στα υδατικά οικοσυστήματα, όσο και στις ανθρώπινες κοινωνίες που είναι πλήρως εξαρτώμενοι από αυτά αφού αποτελούν πηγή ζωής. Για τον λόγο αυτό υλοποιήθηκαν πολλά προγράμματα διαχείρισης της ρύπανσης σε υδατικούς αποδέκτες με πολλά παραδείγματα τα οποία βοηθούν στην προστασία και αποκατάσταση των υδατικών οικοσυστημάτων και πόρων σε τέτοιο βαθμό που κρίνεται ικανοποιητικός.

Απόρροια της συστηματικής εκμετάλλευσης των υδατικών πόρων από τους ανθρώπους ήταν η δημιουργία προγραμμάτων αειφορικής διαχείρισης, κύριο μέλημα των οποίων ήταν η καλυτέρευση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων. Για να σχεδιαστούν όμως αυτά τα προγράμματα, είναι απαραίτητη η συστηματική μέτρηση και καταγραφή των μεταβλητών που περιγράφουν την ποιότητα των επιφανειακών υδάτων σε μια υδρολογική λεκάνη. Οι λόγοι που αναφέρθηκαν παραπάνω προκάλεσαν το έναυσμα για την δημιουργία μοντέλων αξιοποιώντας τις διαθέσιμες παραμέτρους, που θα επιλύουν τόσο τα παρόντα όσο και τα μελλοντικά προβλήματα ρύπανσης (Bross et al., 1999; Κοτοπούλη κ.α., 2006; Huo et al, 2012).

Στην παρούσα μελέτη, γίνεται χρήση τεχνητής νοημοσύνης και στατιστικών προγραμμάτων χρησιμοποιώντας δεδομένα τα οποία εκφράζουν φυσικές και χημικές παραμέτρους σε ένα υδατικό οικοσύστημα (Πηνειός), στον Ελλαδικό χώρο. Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν ένα εργαλείο αειφορικής διαχείρισης, καταλήγοντας στο βέλτιστο επιθυμητό αποτέλεσμα, που είναι η αποκατάσταση ενός υδατικού συστήματος μέσω μαθηματικών μοντέλων και κατ' επέκταση η αναβάθμιση της ποιότητας της ζωής των ανθρώπων.

### 1.1 Σκοπός μελέτης

Ο στόχος της μελέτης χωρίζεται σε δυο ενότητες, το θεωρητικό και το εφαρμοσμένο μέρος. Με την παρουσίαση του θεωρητικού μέρους επιτυγχάνεται η κατανόηση της χρήσης των νευρωνικών δικτύων ως μέσο για την επίλυση του στόχου της μελέτης, καθώς και στην πλήρη κατανόηση τους από τον αναγνώστη

σχετικά με το πεδίο εφαρμογής τους και τις θετικές ή αρνητικές επιδράσεις που προκύπτουν από την χρήση τους.

Σαφέστατα, γίνεται μια αναφορά σε τομείς στους οποίους έχει γίνει χρήση στο παρελθόν καθώς και που έχουν εφαρμοστεί με σκοπό την κατανόηση του αναγνώστη όπως επίσης και διάφορες μελέτες περιπτώσεων εφαρμογής του προγράμματος.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, παρουσιάζεται το εφαρμοσμένο τμήμα της εργασίας, δηλαδή η εφαρμογή των τεχνητών νευρωνικών δικτύων στα δεδομένα της μελέτης ως μέσο επίτευξης του στόχου, δηλαδή της μοντελοποίησης των παραμέτρων. Έγινε μια εφαρμογή ουσιαστικά των νευρωνικών δικτύων στην περιοχή μελέτης (Πηνειός ποταμός), σε δεδομένα από τον σταθμό των Γόννων στον Πηνειό ποταμό, που αφορούν χρονικό διάστημα από το 1980 έως το 1995 για παραμέτρους όπως : η παροχή (Q), η ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw), η θερμοκρασία νερού (T), η ενεργός οξύτητα του νερού (pH), η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO), το ποσοστό κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου (%), τα νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ), τα αμμωνιακά ( $\text{NH}_4^+$ ), και τέλος ο ολικός φωσφόρος (TP). Σκοπός είναι με την χρήση των παραμέτρων να επιτυγχάνεται η δημιουργία μοντέλων κατάλληλων για πρόβλεψη, για δημιουργία συστημάτων ειδοποίησης “alert” και προστασίας από φυσικούς και ανθρωπογενείς κινδύνους που απειλούν τους υδατικούς πόρους και την υδρόβια ζωή. Τα συστήματα αυτά με την σειρά τους οδηγούν στην αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων και στην διατήρηση της βιοποικιλότητας των οργανισμών στους υγροτόπους.

## 1.2 Χαρακτηριστικά και ιδιότητες του νερού

Το νερό σήμερα και η σημασία του για τον άνθρωπο είναι τεράστια. Αποτελεί βασικό στοιχείο τόσο της ανάπτυξης της ζωής αλλά και της διατήρησης της. Τα κύτταρα, οι ιστοί, οι οργανισμοί αποτελούνται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από νερό, ενώ η επιφάνεια της γης καλύπτεται κατά 71% από νερό. Σήμερα χρησιμοποιείται: (Χολέβα, 2007):

- α) ως πόσιμο νερό τόσο για τους ανθρώπους όσο και για τα ζώα
- β) ως νερό άρδευσης για καλλιεργήσιμες εκτάσεις
- γ) ως μέσο διαβίωσης της υδρόβιας ζωής
- δ) ως μέσο ψυχαγωγίας και ανάπτυξης
- γ) σε ένα τεράστιο ποσοστό βιομηχανιών

Τα χαρακτηριστικά του νερού χωρίζονται ανάλογα με τις ιδιότητες τους σε φυσικά, χημικά και βιολογικά. Στα φυσικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται τα στοιχεία όπως η θερμοκρασία, το χρώμα, η γεύση και η οσμή, στα χημικά στοιχεία όπως το pH, η αλκαλικότητα, η σκληρότητα και διάφορες ουσίες που διαλύονται στο νερό όπως τα μέταλλα και τα θρεπτικά στοιχεία και τέλος στις βιολογικά ανήκουν και περιλαμβάνονται τα βακτήρια, οι μύκητες, τα φύκη, τα φυτά και τα ζώα (Αντωνόπουλος 2003).

### 1.2.1 Ποιότητα νερού

Η έννοια της ποιότητας του νερού είναι περισσότερο μια αυθαίρετη έννοια η οποία εξαρτάται από τα κριτήρια των κατά περίπτωση χρήσεων του νερού. Έτσι ένας γενικός ορισμός που έχει δοθεί για την ποιότητα του νερού είναι ο εξής:

*«Η συγκεκριμένη ποιότητα νερού, η οποία απαιτείται για κάθε χρήση του, περιγράφεται από μία σειρά μεταβλητών, η οποία περιλαμβάνει τα χημικά συστατικά του νερού, τις φυσικοχημικές του ιδιότητες και τα βιολογικά του χαρακτηριστικά»* (Αντωνόπουλος 1995).

Παραδοσιακά η εκτίμηση της ποιότητας του νερού βασιζόταν σε φυσικοχημικές μετρήσεις ανόργανων και οργανικών ουσιών που περιέχονται σε αυτό. Άλλες μετρήσεις που αφορούν τις ποσοτικές παραμέτρους του νερού και τη φυσική κατάσταση των υδατικών σωμάτων, μόνο πρόσφατα έχουν προσδιοριστεί ως εξίσου σημαντικές για τον προσδιορισμό της οικολογικής ποιότητας των υδατικών σωμάτων (Σέντας 2007).

### 1.3 Ποτάμια οικοσυστήματα

Σύμφωνα με τον Deming (1975), *«τα ποτάμια είναι αγωγοί υπερχειλίσης, στους οποίους το νερό που στιγμιαία είναι τοπικό περίσσειμα διοχετεύεται κατηφορικά, ή αλλιώς τα ποτάμια αποτελούν σύστημα εσωτερικών υδάτων το οποίο ρέει, κατά το πλείστον, στην επιφάνεια του εδάφους, το οποίο όμως για ένα μέρος της διαδρομής του ενδέχεται να ρέει και υπογείως»* (Οδηγία 2000/60/EK). Τα ποτάμια αποτελούν δυναμικά συστήματα και αλλάζουν σημαντικά στα γεωμορφολογικά τους χαρακτηριστικά αρκετές φορές κατά την διάρκεια της κίνησης τους εξαιτίας της αλλαγής της κλίσης και της γεωλογίας από περιοχή σε περιοχή (Bellos et al., 2005). Επίσης, αποτελούν πρωταρχικής σημασίας παράγοντα για τα οικοσυστήματα των επιφανειακών υδάτων. Υπάρχουν αρκετά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που διαφοροποιούν τα οικοσυστήματα των ποταμών από εκείνα των λιμνών. Το

περιβάλλον των ρεόντων γλυκέων υδάτων καλείται συνεχούς ροής ή ποτάμιο για τους εμφανείς λόγους της μονής κατεύθυνσης κίνησης του νερού κατά μήκος μιας κατωφέρειας λόγω βαρύτητας. Οι ποταμοί συνιστούν ένα ασήμαντο ποσοστό (1%) της χερσαίας επιφάνειας και μόνο το 0,0001% των υδάτων της Γης εμφανίζεται σε ποτάμιους διαύλους (Wetzel R.G., 2006). Το νερό των ποταμών πραγματοποιεί τρεις σημαντικές διεργασίες για τα ρέοντα ύδατα (Κουτσίκος 2009):

- α) διάβρωση
- β) μεταφορά φερτών υλών στα κατάντη
- γ) εναπόθεση αυτών σε όλη την διαδρομή του.

Οι ποταμοί τροφοδοτούνται από τα νερά των βροχών, τις πηγές, και την τήξη του χιονιού και των παγετώνων. Το νερό των βροχών συνεισφέρει κατά πολύ στον σχηματισμό των ποταμών, εκτός από τις περιοχές όπου μεγάλο τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού καλύπτεται από λίμνες. Τα ποτάμια κρατούν οριζοντίως και συνεχώς ένα σημαντικό ποσοστό ύλης σε διαλυμένη και σωματιδιακή μορφή από φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές (Callow & Petts, 1994). Αυτό το υλικό με την κίνησή του υπόκειται σε έντονες βιολογικές και χημικές διεργασίες και επιπλέον μπορεί να επηρεαστεί από μορφολογικούς και υδρολογικούς παράγοντες (Sawidis 1997).

Οι δύο κύριες κατηγορίες που χωρίζονται οι ποταμοί βάσει του καθεστώτος ροής είναι οι εξής:

- α) στους ποταμούς με μόνιμη ροή, δηλαδή όταν στο μεγαλύτερο κατά μήκος τους μέρος της κοίτης διατηρούν πάντα νερό, ακόμα κι αν δεν υπάρχει εμφανής ροή, και

β) στους ποταμούς με περιοδική ή διακοπτόμενη ροή, δηλαδή όταν στο μεγαλύτερο μέρος τους κατά μήκος της κοίτης δεν διατηρούν πάντα νερό και κατ' επέκταση ξεραίνονται (Κουτσίκος 2009).

#### 1.4 Υδρογεωγραφικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας

Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται ως σχεδόν άνυδρη χώρα, εξαιτίας της γεωγραφικής της θέσης καθώς και της γεωμορφολογικής της σύστασης. Το σύνολο της επιφάνειας της χώρας ( $131.940 \text{ km}^2$ ) καλύπτεται με επιφανειακούς υδατικούς πόρους συνολικής επιφάνειας γύρω στα  $2200 \text{ km}^2$ , δηλαδή ποσοστό κάλυψης 1,6%. Από αυτούς οι φυσικές και οι τεχνητές λίμνες καλύπτουν σε έκταση περίπου  $956 \text{ km}^2$ , οι λιμνοθάλασσες περίπου  $288 \text{ km}^2$ , οι ποταμοί έχουν μήκος περίπου  $4268 \text{ km}$ , τα έλη περίπου  $58 \text{ km}^2$ , ενώ οι εκβολές και τα δέλτα των ποταμών περίπου  $723 \text{ km}^2$  (Κουτσίκος Ν., 2009).

Η Ελλάδα ως χώρος, έχει χωριστεί στα λεγόμενα, υδατικά διαμερίσματα, που είναι τα διαμερίσματα Δυτικής Πελοποννήσου, Βόρειας Πελοποννήσου, Ανατολικής Πελοποννήσου, Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, Ηπείρου, Αττικής, Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας, Θεσσαλίας, Δυτικής Μακεδονίας, Κεντρικής Μακεδονίας, Ανατολικής Μακεδονίας, Θράκης, Κρήτης και νήσων Αιγαίου. Οι μεγαλύτεροι ποταμοί της Ελλάδας σε μήκος είναι πρώτος ο Αλιάκμονας με μήκος που ανέρχεται στα 297 χιλιόμετρα, δεύτερος ο Αχελώος με 220 χιλιόμετρα και τρίτος ο Πηνειός Θεσσαλίας με μήκος τα 205 χιλιόμετρα με τον οποίο ασχολούμαστε στην διατριβή αυτή (Στουρνάρας, 2007).

#### 1.4.1 Πηνειός ποταμός

Ο Πηνειός ποταμός ανήκει σε ένα ευρύτερο υδρολογικό δίκτυο της περιοχής της Θεσσαλίας και η λεκάνη απορροής του ποταμού έχει έκταση  $9,747\text{km}^2$ . Αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα υδατορεύματα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας αφού παρέχει πόσιμο νερό και χρησιμοποιείται για διάφορες δραστηριότητες όπως γεωργικές, βιομηχανικές, ψυχαγωγικές με αποτέλεσμα να συμβάλλει στην οικονομία της περιοχής (Bellos., et al, 2005). Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, περιλαμβάνει τη μεγαλύτερη υδρολογική λεκάνη ( $9,747\text{km}^2$ ) της Ελλάδας και ο Πηνειός με όλους του παραποτάμους αποτελεί τον μοναδικό αποδέκτη (Bellos et al., 2004).

Ο Πηνειός ως ένα σύνολο παρουσιάζει μια πολυπλοκότητα, η οποία οφείλεται στις κατά θέσεις διαφορετικές επικρατούσες συνθήκες περιβάλλοντος, που κατά βάση είναι αυτές που προσδιορίζουν τόσο το δυναμικό του ποταμού, όσο και την κατάσταση στην οποία βρίσκεται. Επίσης, οι συνθήκες αυτές προσδιορίζουν και τις δυνατότητες και τους τρόπους που υπάρχουν στην κατεύθυνση μια ορθολογικής αειφορικής διαχείρισης του ποταμού (Τσάκας, 2009).

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επηρεάσει σημαντικά το ποτάμιο σύστημα με πολλούς τρόπους όπως για παράδειγμα, μέσω της αποψίλωσης των δασών, της αστικοποίησης παράκτιων περιοχών του ποταμού, της γεωργικής ανάπτυξης, της αποξήρανσης εδαφών, μέσω ρύπων και της ρύθμισης της ροής με φράγματα (Bellos et al., 2005). Εκτός από τις γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, ο ποταμός επηρεαζόταν σε μεγάλο βαθμό από τα οικιακά λύματα της πόλης της Λάρισας (150.000 κάτοικοι), αλλά μετά την κατασκευή του



βιολογικού καθαρισμού, όγκος των  $25000\text{m}^3 \text{d}^{-1}$  (Fytianos et al., 2002) διοχετεύεται εκεί.

### 1.5 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks) επινοήθηκαν το 1943 από τον Αμερικανό νευροφυσιολόγο Γουόρεν Μακ Κάλοκ (McCulloch) και το μαθηματικό Γουόλτερ Πιτς (Pitts) και αποτελούν ένα πολύ ισχυρό μαθηματικό εργαλείο που προσομοιάζει τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος (Λυμπεροπούλου, 2006).

Ο νευρώνας αποτελεί ένα κύτταρο, του οποίου η δομή είναι ίδια με αυτή όλων των υπόλοιπων κυττάρων του ανθρώπινου σώματος, δηλαδή αποτελείται από τον πυρήνα, που περιέχει τα χρωμοσώματα και το DNA, την κυτταρική μεμβράνη και το κυτταρικό σώμα, όπου λαμβάνουν χώρα οι διάφορες χημικές αντιδράσεις (Καραμπερίδου κ.α., 2007). Η έρευνα σχετικά με τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι εμπνευσμένη από τη δομή και τη λειτουργία του εγκεφάλου. Βασικό δομικό στοιχείο του εγκεφάλου είναι οι νευρώνες, δηλαδή τα νευρικά κύτταρα τα οποία δημιουργούν ένα πυκνό δίκτυο επικοινωνίας μεταξύ τους (Λυμπεροπούλου, 2006).

Με τα νευρωνικά δίκτυα δεν επιχειρείται μαθηματική προσομοίωση των εξεταζόμενων φαινομένων, αλλά εξαγωγή ποσοτικών συμπερασμάτων για συγκεκριμένα δεδομένα, με βάση ανάλογες περιπτώσεις. Επομένως τα νευρωνικά δίκτυα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όταν: α) η μαθηματική προσομοίωση του φυσικού προβλήματος δεν είναι δυνατή ή είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και β) όταν δεν έχουν

προσδιορίζεται με επαρκή ακρίβεια απαραίτητες παράμετροι (π.χ. η υδραυλική αγωγιμότητα ενός υδροφορέα) (Καραμπερίδουκ.α., 2010).

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το νερό και η ποιότητα που το διακρίνει επιδρά άμεσα σε όλες τις χρήσεις του. Οι πιθανές χρήσεις από ανθρώπους, όπως για παράδειγμα, χρήση για ύδρευση, αγροτικές και κτηνοτροφικές ανάγκες, βιομηχανία, διαβίωση των υδρόβιων οργανισμών και λόγους αναψυχής, είναι όλες εξίσου σημαντικές και για τον λόγο αυτό η ποιότητα του νερού είναι βαρύνουσας σημασίας (Najah et. al 2009).

Η περιοχή στην οποία αναφέρεται η παρούσα εργασία είναι ο Πηνειός ποταμός, ο οποίος ανήκει στον νομό Θεσσαλίας και διασχίζει την Θεσσαλική πεδιάδα. Οι ποιοτικές παράμετροι τις οποίες αναλύονται είναι :

1. η παροχή (Q),
2. η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC),
3. η θερμοκρασία νερού (T),
4. η ενεργός οξύτητα του νερού (pH),
5. η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO),
6. το ποσοστό κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου (%),
7. τα νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ),
8. τα αμμωνιακά ( $\text{NH}_3$ ), και τέλος
9. η ολική συγκέντρωση του φωσφόρου (TP).

Οι μετρήσεις των παραπάνω παραμέτρων αποτελούν χρονικές σειρές, στις οποίες προσαρμόσαμε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα η θεωρία των οποίων αναλύεται

στο κεφάλαιο αυτό. Σε όλο το κεφάλαιο 2 εμφανίζεται η περίπτωση μελέτης της συγκεκριμένης μελέτης με σκοπό την επεξήγηση όλων των παραμέτρων.

## 2.1 Περιοχή Μελέτης

### 2.1.1 Πηνειός-Ιστορική Αναδρομή

Ο Πηνειός, ποτάμι της Θεσσαλίας, έλαβε τη σημερινή μορφή, μετά την απομάκρυνση των υδάτων της άλλοτε μεγάλης Θεσσαλικής λίμνης, από ρήγμα που δημιουργήθηκε στην κοιλάδα των Τεμπών. Καμία Περιφέρεια στην Ελλάδα, δεν διατηρεί κατά τόσο μεγάλο βαθμό ζωντανούς μύθους και θρύλους όπως η Θεσσαλία. Με τον τρόπο αυτό διατηρείται το κλίμα της παράδοσης που παρέλαβε από τους προγόνους της. Απόδειξη της διατήρησης των παραδόσεων αποτελεί ο Πηνειός ποταμός. Στην αρχαιότητα οι ποταμοί θεωρούνταν ως θεότητες, αφού σύμφωνα με την μυθολογία ήταν γιος του Ωκεανού και της Τιθύος και πατέρας της νύμφης Δάφνης, ιέρειας της Μητέρας Γής. Κάτι αντίστοιχο ισχύει και για τον Πηνειό αφού οι μύθοι γύρω από τον ποταμό είναι αναρίθμητοι (Aggelopolou et al, 2007). Μέσα από αυτές τις παραδόσεις και τα έθιμα ο κόσμος, έμαθε να ζει και να ευημερεί σε περιοχές κοντινές σε ποταμούς, θεωρώντας τους ως κάτι το εξωπραγματικό. Από τα ήθη και τα έθιμα καταλαβαίνει κανείς πως, ο Πηνειός αποτελούσε και αποτελεί έναν κομβικής σημασίας παράγοντα για τον νομό της Θεσσαλίας προσφέροντας πληθώρα πραγμάτων.

### 2.1.2 Γεωγραφική Θέση- Γενικά Χαρακτηριστικά

Ο Πηνειός είναι ο κύριος ποταμός της Θεσσαλίας, ο οποίος πηγάζει από την Πίνδο, περνάει κοντά από την Καλαμπάκα, διασχίζει τη Θεσσαλική πεδιάδα και εκβάλλει στο Θερμαϊκό κόλπο. Το συνολικό μήκος του είναι 216 km και η συνολική του επιφάνεια 9.747. Ο Πηνειός έλαβε την σημερινή του μορφή μετά την απομάκρυνση των υδάτων της μεγάλης Θεσσαλικής λίμνης πριν από 500.000 χρόνια από ρήγμα που δημιουργήθηκε στην κοιλάδα των Τεμπών (Aggelopoulou et al, 2007).

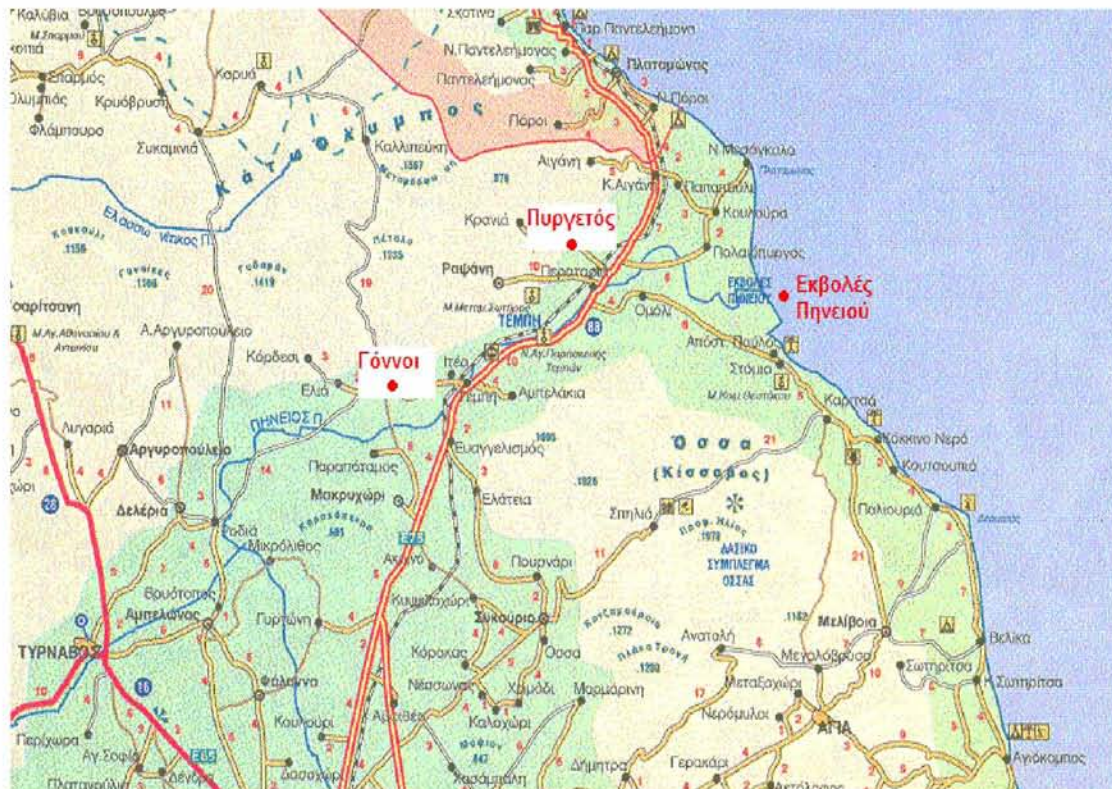
Σχηματίζεται από τη συμβολή του Μαλακασιώτικου ρέματος που πηγάζει από το βουνό Λάκμος και του ρέματος Μουργκάνι, που πηγάζει από τα Αντιχάσια. Το μήκος του φθάνει τα 216km και είναι ο 3<sup>ος</sup> σε μήκος ποταμός της Χώρας. Η λεκάνη απορροής του, λαμβάνοντας υπόψη και τη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας, καλύπτει έκταση 10.700 km<sup>2</sup>, το ύψος της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης είναι 779 mm, ο μέσος ετήσιος όγκος υετού  $7.965 \times 10^6 \text{ m}^3$  και η μέση ετήσια απορροή εκτιμάται σε  $3.500 \times 10^6 \text{ m}^3$  ([http3](#)). Το συνολικό υδατικό δυναμικό της Λεκάνης Πηνειού είναι περίπου 3.140 hm<sup>3</sup> και αποτελείται από 2.558 hm<sup>3</sup> επιφανειακών νερών και 590 hm<sup>3</sup> υπόγειων. Το υπόγειο νερό βρίσκεται στους καρστικούς και προσχωματικούς υδροφορείς της περιοχής ([http4](#)).



Εικόνα 1: Θέση νομού Θεσσαλίας γεωγραφικά στην Ελλάδα (HTTP 14)

Σε όλο το μήκος του ποταμού ενσωματώνονται πάρα πολλοί παραπόταμοι και συγκεκριμένα: από τα ανατολικά του είναι: ο Ενιπεύς, ο Κλινοβίτικος, ο Πορταϊκός, ο Πάμισος και ο Καρδιτσώτικος, και από δυτικά δέχεται τους παραπόταμους Μίκανη, Τρικαλινό, Νεοχωρίτη και Τιταρήσιο. Παλιότερα υπήρχαν πολλές λίμνες, οι οποίες αποξηράθηκαν όπως η Κάρλα, η Ασκουρίς και η Νεσσωνίς. Σήμερα υπάρχει μόνο η τεχνητή λίμνη του Μέγδοβα και η Κάρλα η οποία τελεί υπό επανασύσταση. Επίσης, διαθέτει σημαντικά παραποτάμια δάση, μεγάλη ποικιλότητα στην πανίδα και εκτεταμένες θίνες στο Δέλτα του (<http1>).

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο Πηνειός ποταμός στον νομό Θεσσαλίας και συγκεκριμένα τα σημεία από τα οποία ελήφθησαν οι μετρήσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή.



Εικόνα 2: Χάρτης σταθμών μετρήσεων υδρολογικών παραμέτρων (Σέντας 2007)

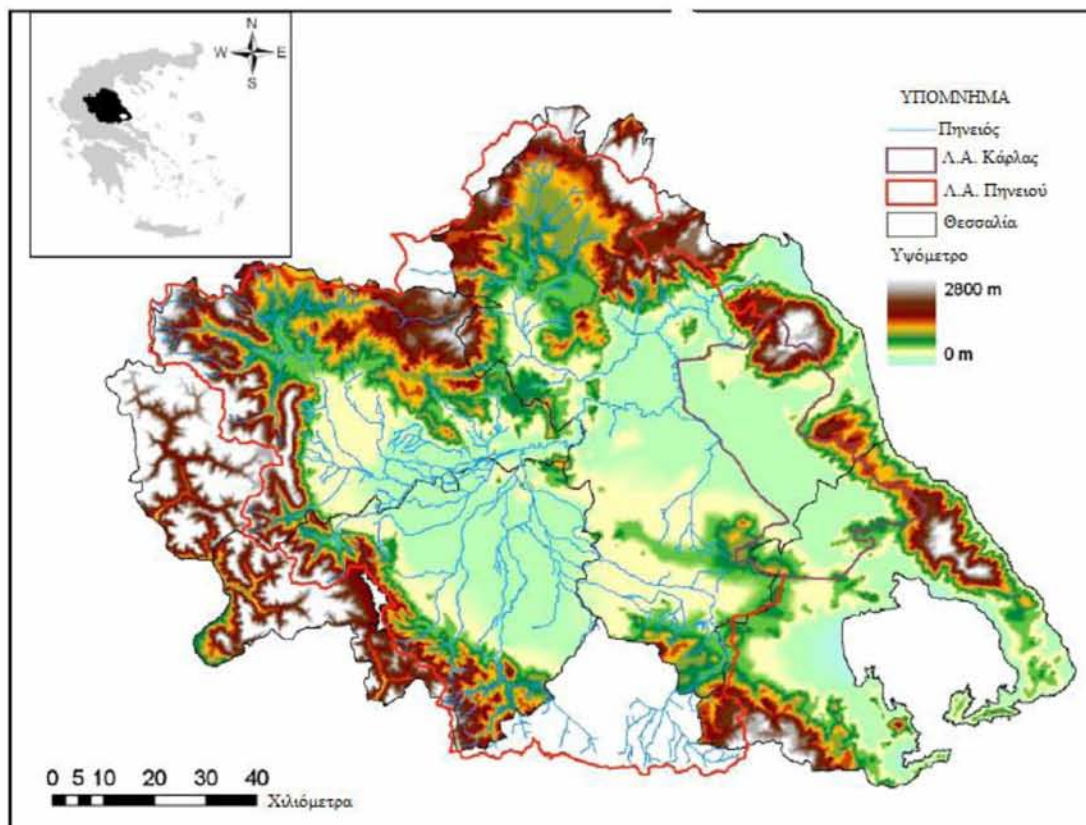
Τροφοδοτείται από τα νερά των παραποτάμων: Ληθαίου, Πορταϊκού, Παμίσου, Σοφαδίτικου, Ενιπέα, Τιταρησίου καθώς και τα νερά από την εκτροπή του Ταυρωπού στην περιοχή της Καρδίτσας. Μετά την Λάρισα δημιουργεί έντονους μαιανδρισμούς, διέρχεται την κοιλάδα των Τεμπών και εκβάλλει στο Αιγαίο σχηματίζοντας μικρό Δέλτα. Παρουσιάζει ήρεμη ροή, η οποία δημιουργεί προσχώσεις και συχνά προκαλεί πλημμύρες στις περιοχές Ζάρκου και Γόνων κυρίως (<http3>). Η παρουσία γεφυρών χαμηλού ύψους, η κατασκευή πρόχειρων φραγμάτων από τους αγρότες για άντληση ύδατος καθώς και το χαμηλό ύψος αποστραγγιστικού δικτύου ενισχύουν την τάση για πλημμύρες. Σημαντικότερες πιέσεις που δέχεται ο ποταμός είναι (<http3>):

- 1) Σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης (γεωργία, κτηνοτροφία, αστικά απόβλητα, βιομηχανία),



- 2) υπερεκμετάλλευση του υπόγειου νερού κατά τη διάρκεια της θερινής αρδευτικής περιόδου, με γεωτρήσεις και πηγάδια.
- 3) ρύθμιση πλημμύρων,
- 4) αφαίρεση νερού για άρδευση,
- 5) τουριστική υποδομή στις παράκτιες περιοχές.

Παλαιότερα με τα πλημμυρικά νερά του τροφοδοτούσε την λίμνη Κάρλα, της οποίας η έκταση έφθανε και μέχρι τα 180 km<sup>2</sup>. Μετά τη δημιουργία του αναχώματος στην κοίτη του Πηνειού, η Κάρλα απέκτησε δική της υδρολογική λεκάνη. Παρακάτω εμφανίζεται ένας χάρτης του Πηνειού ποταμού καθώς και της περιοχής στην οποία βρίσκεται (<http5>).

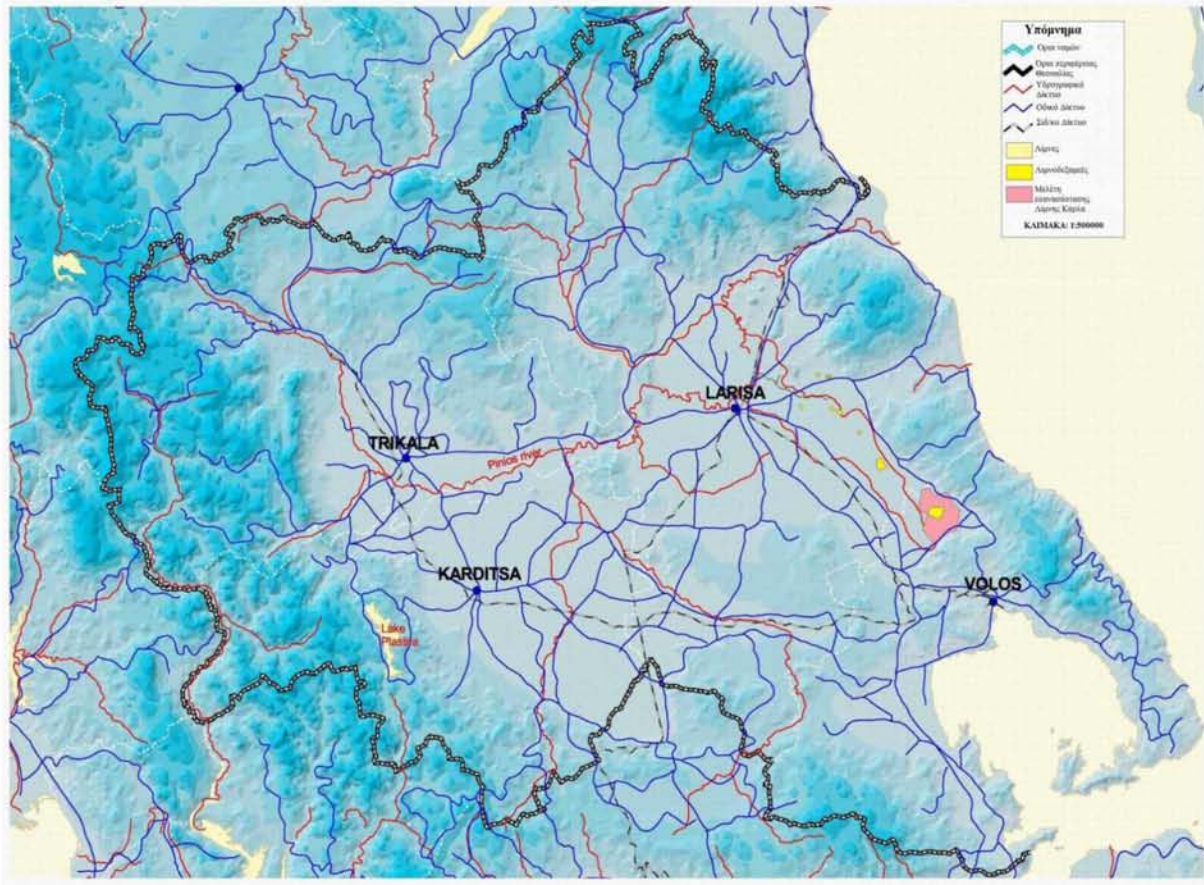


Εικόνα 3: Τοπογραφικός Χάρτης Θεσσαλίας, Πηνειού Ποταμού (Loukas 2010)

### 2.1.3 Χρήσεις του ποταμού στην Θεσσαλία

Ο Πηνειός μαζί με τους παραπόταμους του αποτελεί για τη Θεσσαλία το μοναδικό υδάτινο αποδέκτη. Η Θεσσαλική περιοχή, με έναν πληθυσμό 500.000 κατοίκων, είναι κυρίως γεωργική με μικρή βιομηχανική δραστηριότητα. Οι ανάγκες πόσιμου νερού της Λάρισας καλύπτονταν μέχρι το 1986 αποκλειστικά από τον Πηνειό. Με τα νερά του υδρεύονται περί τα 80.000 στρέμματα και παράλληλα υδροδοτούνται οικισμοί της Θεσσαλίας. Όμως η συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση νερού και η αύξηση της καλλιέργειας βαμβακιού στη Θεσσαλική πεδιάδα, η οποία απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού, σε συνδυασμό με τη ρύπανση του ποταμού από φυτοφάρμακα, οδήγησε στην αναζήτηση νέων πηγών νερού. Έτσι από το 1990, οι ανάγκες πόσιμου νερού της Λάρισας καλύπτονται 100% από υπόγεια νερά που προέρχονται από γεωτρήσεις. ([http2](#)). Διαθέτει σημαντικά παραποτάμια δάση, μεγάλη ποικιλότητα στην πανίδα και εκτεταμένες θίνες στο Δέλτα του.





Εικόνα 4: Λεκάνη απορροής Πηνειού Ποταμού (<http5>)

#### 2.1.4 Κλιματολογικές Συνθήκες

Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας διαιρείται σε τρεις κλιματικές περιοχές (Χατζηνικολάου 2007):

1. Την ανατολική παράκτια και ορεινή με μεσογειακό κλίμα
2. Την κεντρική πεδινή, με ηπειρωτικό κλίμα
3. Την δυτική ορεινή, με ορεινό κλίμα.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 16°C έως και 17°C. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος ξεπερνά τους 22°C. Οι πιο θερμοί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος και οι πιο ψυχροί ο Δεκέμβριος, ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος. Το

ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στη Θεσσαλία είναι σχετικά μεγάλο στα δυτικά (1400mm), στη συνέχεια μειώνεται στο πεδινό τμήμα (500mm) και αυξάνεται ελαφρώς στο ορεινό ανατολικό τμήμα. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 700mm (Χατζηνικολάου, 2007).

#### 2.1.5 Ιχθυοπανίδα Πηνειού

Η ιχθυοπανίδα ανάλογα με την αλατότητα του νερού διακρίνεται σε γλυκού και αλμυρού νερού ανάλογα με την περιοχή του ποταμού στην οποία βρίσκεται. Είναι πλούσια σε είδη και πληθυσμούς και αυτό αποτελεί τεκμήριο της ισορροπίας του ποταμού. Τα είδη τα οποία μπορούν να αναφερθούν ως ιχθυοπανίδα είναι: μπριάννα, γουρουνομύτη, κεφαλόπουλο, βελονίτσα, γληνί, γουλιανός, κέφαλος, κουνουπόψαρο, χέλια, λαβράκια και τσιπούρες, μουρμούρα και άλλα. Πρέπει να αναφερθεί πως τα παραπάνω είδη κατηγοριοποιούνται ως είδη εσωτερικών υδάτων όσο και ως είδη του εκβολικούσυστήματος του ποταμού οπότε η σημασία τους είναι μεγάλη για την αειφορική διαχείριση του ποταμού (Aggelopoulou et al., 2007).

#### 2.2 Παράμετροι ανάλυσης

Οι παράμετροι που αναλύονται με την χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων στην παρούσα διατριβή είναι οι εξής: η παροχή (Q), η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), η θερμοκρασία νερού (T), η ενεργός οξύτητα του νερού (pH), η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO), το ποσοστό κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου (%),

τα νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ), τα αμμωνιακά ( $\text{NH}_3$ ), και τέλος η ολική συγκέντρωση του φωσφόρου (TP).

### 2.2.1 Παροχή (Q)

Είναι η ποσότητα του νερού που περνά από ένα σημείο στην μονάδα του χρόνου και την μετράμε σε  $\text{m}^3/\text{sec}$  (HTTP6). Στη Μηχανική Ρευστών με τον όρο παροχή ενός αγωγού, στον οποίο ρέει κάποιο ρευστό, εννοείται είτε η παροχή μάζας είτε η παροχή όγκου. Συνηθέστερα εννοείται η παροχή όγκου, που είναι ο όγκος ρευστού που διέρχεται από τον αγωγό στη μονάδα του χρόνου (HTTP7). Συνεπώς εξ ορισμού η παροχή (Q) δίνεται από τον μαθηματικό τύπο:

$$Q = \frac{dV}{dT} \quad (1)$$

όπου

V    όγκος του νερού σε μονάδες  $\text{m}^3$

T    χρόνος σε s

Q    η παροχή σε μονάδες  $\text{m}^3/\text{s}$

### 2.2.2 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Νερού (Electrical conductivity of water Conductivity of water-ECW)

Ως ηλεκτρική αγωγιμότητα ορίζου με την ικανότητα του νερού να μεταφέρει ηλεκτρικά φορτία. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, από την συγκέντρωσή τους, την ευκινησία, το σθένος και την θερμοκρασία (Psilovikos et al.,

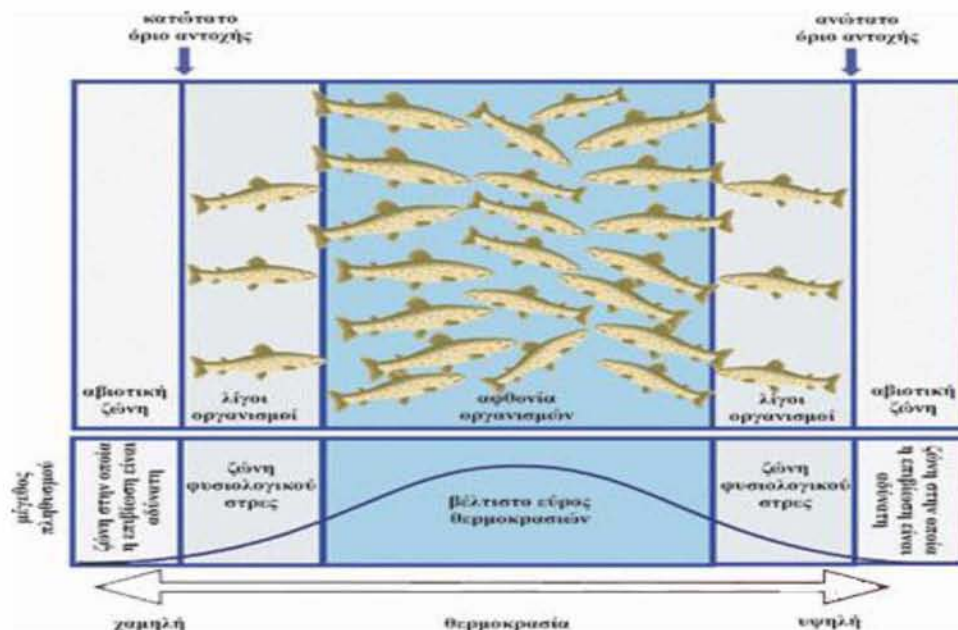
2006). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι αριθμητικά η έκφραση της ικανότητας του υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα, ιδιότητα που συνδέεται με την ολική συγκέντρωση των ιονισμένων ουσιών και τις σχετικές συγκεντρώσεις τους, την κινητικότητα τους και τη θερμοκρασία του νερού κατά τη στιγμή της μέτρησης της (Σέντας 2007). Οι τιμές της αγωγιμότητας είναι ενδεικτικές για την ποιότητα του νερού. Απότομη αύξηση της αγωγιμότητας σε μια υδάτινη στήλη αποτελεί ένδειξη ρύπανσης. Επίσης μεγάλη αγωγιμότητα σε γλυκά νερά βοηθά στην καλύτερη βιολογική παραγωγικότητα ([http8](http://8)). Ηλεκτρική αγωγιμότητας του νερού άρδευσης μεγαλύτερη από 0,7 ds/m (700  $\mu$ S/cm), μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα αλατότητας στο έδαφος, ανάλογα με το είδος του εδάφους, το είδος της καλλιέργειας, το κλίμα και τον τρόπο εφαρμογής του νερού. Νερό με ηλεκτρική αγωγιμότητα μεγαλύτερη από 3 dS/m (3000  $\mu$ S/cm), είναι κατά κανόνα ακατάλληλο για άρδευση (Parazafeiriou et al, 1991). Υψηλά επίπεδα πρόσληψης Na, ιδίως αν δεν εξισορροπείται από πρόσληψη Ca έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα υγείας στους ανθρώπους.

### 2.2.3 Θερμοκρασία (T)

Η θερμοκρασία αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα σε όλα τα περιβάλλοντα, αφού όλες οι φυσιολογικές λειτουργίες των οργανισμών είναι πολύ εξαρτημένες από αυτήν. Συνήθως κάθε είδος χαρακτηρίζεται από περιορισμένο εύρος ανοχής στη θερμοκρασία, ιδιαίτερα σε σταθερά περιβάλλοντα (Λυκάκης, 1996). Η θερμοκρασία του νερού αποτελεί σημαντικό αβιοτικό παράγοντα για κάθε υδάτινο οικοσύστημα καθώς επιδρά στη διαλυτότητα του οξυγόνου και άλλων συστατικών, στο

μεταβολικό ρυθμό και στις άλλες ζωτικές λειτουργίες των υδρόβιων οργανισμών (αναπνοή-βιοαποικοδόμηση οργανικών ενώσεων, αναπαραγωγή κ.ά.) και σε ποικιλία βιογεωχημικών αντιδράσεων. Οι τιμές των βέλτιστων θερμοκρασιών για τους υδρόβιους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς ποικίλουν.

Οι υδρόβιοι πληθυσμοί μπορούν να διακριθούν γενικά σε θερμοανθεκτικούς, με αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και σε ψυχροανθεκτικούς, με αντοχή στις χαμηλές θερμοκρασίες. Όσον αφορά το εύρος των θερμοκρασιών μέσα στο οποίο είναι δυνατή η επιβίωση των υδρόβιων πληθυσμών, οι διάφοροι οργανισμοί μπορούν να διακριθούν σε ευρύθερμους, με ανθεκτικότητα σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και σε στενόθερμους, με ανθεκτικότητα σε μικρές μόνο μεταβολές της θερμοκρασίας. Όσο η θερμοκρασία του νερού πλησιάζει τη βέλτιστη τιμή για κάποιους υδρόβιους οργανισμούς, τόσο οι οργανισμοί αυτοί γίνονται περισσότερο δραστήριοι, καταναλώνουν περισσότερη τροφή και χρησιμοποιούν περισσότερο οξυγόνο. Συνεπώς, η θερμοκρασία του νερού όχι μόνο διαμορφώνει τη σύνθεση των βιοκοινοτήτων, αλλά επιδρά και στη συμπεριφορά τους και στο μέγεθος, κατ' επέκταση, των πληθυσμών τους (<http9>). Επιδρά επίσης και στις αβιοτικές παραμέτρους και επηρεάζει κυρίως τη διαλυτότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό, καθορίζοντας το οξυγόνου κορεσμού.



Εικόνα 5: Επίδραση θερμοκρασίας ως προς τους οργανισμούς σε υδάτινο περιβάλλον

(http9)

#### 2.2.4 Ενεργός Οξύτητα (pH)

Η ενεργός οξύτητα (pH) του νερού είναι καθοριστικός παράγοντας κάθε φυσικής διαδικασίας, κρίσιμος παράγοντας λειτουργίας των βιολογικών συστημάτων και σημαντικό εργαλείο για την εκτίμηση άλλων παραμέτρων της ποιότητας του νερού, όπως η αλκαλικότητα (Σέντας, 2007). Η ενεργός οξύτητα ενός διαλύματος εξαρτάται από τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου και υποδηλώνει πόσο όξινο ή αλκαλικό είναι το διάλυμα σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία (εικ.16). Η τιμή του pH των φυσικών νερών κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 6,5 και 8,5, εύρος τιμών που επιτρέπει την επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών. Το pH του νερού μιας λίμνης, ενός ποταμού καθορίζεται κυρίως από τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα, των όξινων ανθρακικών ιόντων, των ιόντων υδρογόνου και υδροξυλίου (σε ορισμένες περιπτώσεις υγροτόπων από τις συγκεντρώσεις των θειικών ιόντων,

των μεταλλικών κατιόντων και ανιόντων όπως χλωρίου, θείου κ.ά.), από τη θερμοκρασία, από τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών και τις διεργασίες αποσύνθεσης των συστατικών τους. Αυξημένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα μειώνουν το pH του νερού ( $\text{pH} < 5$ ), ενώ τιμές pH μεγαλύτερες του 9,5 αντιστοιχούν σε αυξημένες συγκεντρώσεις δισανθρακικών ιόντων. Σε νερά με ουδέτερο ή σχεδόν ουδέτερο pH (7-9) η συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών ιόντων υπερέχει αυτών του διοξειδίου του άνθρακα και των δισανθρακικών ιόντων. (http10). Η τιμή της ενεργού οξύτητας επηρεάζει την γεύση του νερού και σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα του πόσιμου νερού (FAO) πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 7 και 8,5 για πόσιμο νερό. Για τους υδρόβιους οργανισμούς η τιμή του πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 6 και 9 και για το νερό άρδευσης μεταξύ 6,5 και 8,4. Γενικά οι επιπτώσεις του υποβιβασμού του pH συνοψίζονται στα εξής (Σέντας, 2007):

- 1) Σε ότι αφορά την πανίδα σπονδυλωτών, μερικών ασπόνδυλων και πολλών μικροοργανισμών, νερό με ενεργό οξύτητα κάτω από 4 προκαλεί το θάνατο όλων.
- 2) Σε ότι αφορά τα υλικά, Νερό με γενικά χαμηλό pH προκαλεί διάβρωση πολλών υλικών, όπου μερικά από τα προϊόντα διάβρωσης είναι τοξικά για τους υδρόβιους οργανισμούς.
- 3) Σε ότι αφορά τους φυτικούς οργανισμούς, τιμές pH κάτω από 4,5 μπορούν να βλάψουν είτε απευθείας είτε έμμεσα. Οι έμμεσες συνέπειες προκύπτουν από την απελευθέρωση τρισθενών ιόντων Αργιλίου και Σιδήρου, που οι υψηλές τους συγκεντρώσεις είναι και τοξικές.

Η ενεργός οξύτητα (pH) του νερού είναι καθοριστικός παράγοντας κάθε φυσικής διαδικασίας, κρίσιμος παράγοντας λειτουργίας των βιολογικών



συστημάτων και σημαντικό εργαλείο για την εκτίμηση άλλων παραμέτρων της ποιότητας του νερού, όπως η αλκαλικότητα (Stednick, 1991). Η οξύτητα του νερού καθορίζει τα είδη και την αφθονία των φυτικών και ζωικών οργανισμών ενός υγρότοπου και επηρεάζει τις οικολογικές διεργασίες που συμβαίνουν σε αυτόν. Χαμηλές τιμές του pH περιορίζουν τη μακροφυτική βλάστηση και γενικότερα ακραίες τιμές του pH επιδρούν σημαντικά στην παραγωγικότητα του φυτοπλαγκτού επηρεάζοντας έμμεσα και τη διαβίωση των ζωικών οργανισμών. Τα περισσότερα φυσικά νερά παρουσιάζουν σημαντική ρυθμιστική ιδιότητα, αντιστέκονται δηλαδή, μέσω σειράς χημικών αντιδράσεων, στις απότομες μεταβολές του pH ([http10](#)).

#### 2.2.5 Συγκέντρωση Διαλυμένου Οξυγόνου (DO)

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό αποτελεί αναμφισβήτητο δείκτη της κατάστασης και της βιωσιμότητας στα ποτάμια οικοσυστήματα. Η ανάπτυξη των περισσότερων μορφών ζωής (ζωικών, φυτικών, μυκήτων, πρωτίστων και βακτηρίων) προϋποθέτει την παρουσία οξυγόνου. Η καύση οργανικών ουσιών (κυρίως σακχάρων και λιπαρών οξέων), κυτταρική αναπνοή, εξασφαλίζει την απαραίτητη για την επιβίωση, ανάπτυξη και αναπαραγωγή ενέργεια στην πλειονότητα του έμβιου κόσμου ([http11](#)). Το διαλυμένο οξυγόνο διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο για τα υδατικά οικοσυστήματα. Μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου σε επίπεδα μικρότερα από την τιμή κορεσμού οδηγεί σε αποδόμηση της οργανικής ύλης και νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου ([http12](#)). Η ποσότητα του μοριακού οξυγόνου που βρίσκεται διαλυμένη μέσα στο νερό δεν είναι η ίδια για όλα τα υδατικά συστήματα. Το νερό που κινείται με ταχύτητα, όπως



ένα μεγάλο ποτάμι ή ένας χείμαρρος, περιέχει μεγάλη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου σε σχέση με τα ακίνητα νερά (Σέντας, 2007).

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό αντανακλά την ισορροπία μεταξύ των διαδικασιών που προσθέτουν οξυγόνο και αυτών που αφαιρούν (ισοζύγιο διαλυμένου οξυγόνου) καθώς και την εγγενή ικανότητα του νερού να διαλύει το οξυγόνο, που εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα και την ατμοσφαιρική πίεση. Η διακύμανση της θερμοκρασίας, οι ημερήσιες και οι εποχιακές μεταβολές της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και της παροχής, η διαδικασία αποξυγόνωσης και επαναερισμού, καθιστούν τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου πολύ ευμετάβλητη (Σέντας 2007)

#### 2.2.6 Θρεπτικά – Νιτρικά, Αμμωνιακά, Φωσφορικά

Η παρουσία αμμωνίας και νιτρικών στα ύδατα αποτελεί ένδειξη ρύπανσης των υδάτων από γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Πιο συγκεκριμένα, η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων αμμωνίας υποδηλώνει πρόσφατη ρύπανση ενώ οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών που αποτελούν και το τελικό προϊόν της οξείδωσης της αμμωνίας και γενικά των αζωτούχων ενώσεων, υποδηλώνει ρύπανση μεγαλύτερης διάρκειας (<http12>).

Τα νιτρικά άλατα ( $\text{NO}_3^-$ ) προέρχονται κυρίως από την υπερβολική ρύπανση των γεωργικών καλλιεργειών, τα ανεπεξέργαστα αστικά λύματα και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Σε υπερβολικές ποσότητες προκαλούν το φαινόμενο του ευτροφισμού του νερού. Αν εισέλθουν στον οργανισμό των μικρών

παιδιών, σε μεγάλες ποσότητες ή για μεγάλο χρονικό διάστημα, προκαλούν ασθένειες. Επιτρεπτά όρια για το πόσιμο νερό: 25 – 50 mg/l.

Τα νιτρώδη άλατα ( $\text{NO}_3^-$ ) προέρχονται από την αποσύνθεση νεκρών οργανισμών, τα λύματα, τα λιπάσματα, τα βιομηχανικά απόβλητα και τα συντηρητικά των τροφίμων. Σε υπερβολικές συγκεντρώσεις είναι τοξικά για τον άνθρωπο και προκαλούν ασφυξία των οργανισμών. Θεωρούνται επικίνδυνα για τους οργανισμούς δεδομένου ότι σε όξινο περιβάλλον, αντιδρούν με τις δευτεροταγείς αμίνες σχηματίζοντας νιτροζαμίνες που είναι δυνητικά καρκινογόνες ([http12](http://12)).

Το ενδιαφέρον σχετικά με τον φώσφορο πηγάζει από τον σημαντικό του ρόλο στο βιολογικό μεταβολισμό και από τις σχετικώς μικρές ποσότητες διαθέσιμου φωσφόρου στην υδρόσφαιρα. Εν συγκρίσει με τις άλλες άφθονες φυσικές πηγές των άλλων βασικών θρεπτικών και δομικών στοιχείων των έμβιων οργανισμών, ο φώσφορος παρουσιάζει τη μικρότερη αφθονία και αποτελεί τη συνηθέστερη αιτία περιορισμού της βιολογικής παραγωγικότητας (Wetzel 2006).

Ο φωσφόρος συνδέεται στενά με τη δραστηριότητα των ζώων και των ανθρώπων. Τα δόντια και τα κόκαλα περιέχουν μεγάλες ποσότητες αυτού του στοιχείου. Ο φωσφόρος είναι τόσο σπάνιος στα περισσότερα εδάφη, ώστε η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων είναι μαρτυρία προηγούμενης ζωικής ή ανθρώπινης δραστηριότητας στην περιοχή (Σέντας 2007)

Τα φωσφορικά άλατα ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) προέρχονται από τη διάβρωση φωσφορικών πετρωμάτων, τις βροχές, τη ρίψη κοπριάς, τα βιομηχανικά απόβλητα, τα απορρυπαντικά και τα όταν δεν είναι πλήρης ο βιολογικός καθαρισμός, που εκβάλλει στο ποτάμι. Τα φωσφορικά στα ύδατα προέρχονται από γεωργικές δραστηριότητες (κυρίως από τη χρήση λιπασμάτων) καθώς και από την απόρριψη

αστικών λυμάτων και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων. Καθορισμένες ποσότητες φωσφορικών είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των φυτών και των ζώων, σε μεγάλες όμως συγκεντρώσεις και σε συνδυασμό με την παρουσία νιτρικών προκαλείται το φαινόμενο του ευτροφισμού ([http12](#)).

Τα αμμωνιακά ( $\text{NH}_4^+$ ) προέρχονται από την αποσύνθεση νεκρών οργανισμών, τα λιπάσματα, τα απορρίμματα και τους αγωγούς οικιστικών λυμάτων. Επιτρεπτά όρια: μικρότερα των 30 mg/l, για το πόσιμο νερό μικρότερα των 5 mg/l ([http13](#)).

### 2.3 SPSS (Statistical Package for Social Sciences)

Το πρόγραμμα το οποίο θεωρήθηκε ως το ορθότερο στατιστικά για την εφαρμογή των δεδομένων καθώς και το ιδανικότερο αποτέλεσμα αναφορικά με τον επικείμενο σκοπό ήταν το SPSS 19. Το στατιστικό πρόγραμμα SPSS 19, είναι ένα περιεκτικό πρόγραμμα ικανό για την ανάλυση στοιχείων. Είναι ικανό να δεχθεί κάθε είδους στοιχεία ή αρχεία και να τα αξιοποιήσει δημιουργώντας αναφορές οι οποίες περιέχουν πίνακες, διαγράμματα, σχέδια κατανομής, περιγραφικές αναλύσεις, και πολύπλοκες στατιστικές αναλύσεις (SPSS manual).

Είναι ένα στατιστικό πακέτο με πολλές δυνατότητες για εισαγωγή δεδομένων και σαφή καταγραφή των αποτελεσμάτων όλων των διαδικασιών (στατιστικών αναλύσεων, γραφικών παραστάσεων, μετατροπών κλπ) που πραγματοποιήθηκαν σ' ένα σύνολο δεδομένων και μάλιστα με τη σειρά που εκτελέστηκαν. Για την ανάλυση χρονοσειρών διαθέτει: γραφήματα, εντολές εκτίμησης παραμέτρων, στατιστικά για τον έλεγχο προσαρμογής ενός μοντέλου, στατιστικά για τη σύγκριση μοντέλων και τέλος δίνει δυνατότητα πρόβλεψης (Σέντας 2007). Ακόμη περιέχει και

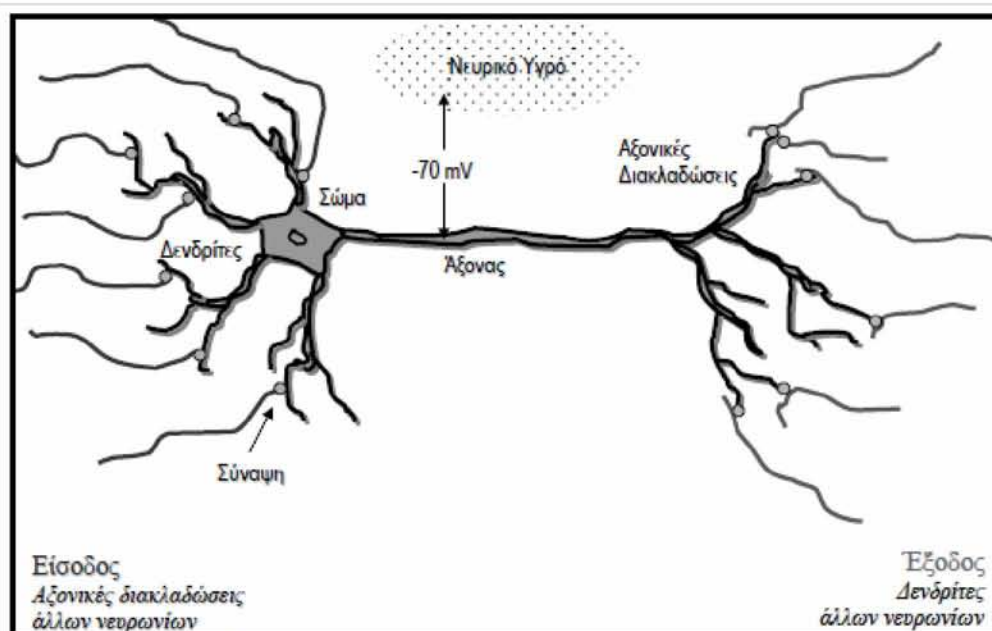
συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμογής τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Για τον λόγο αυτό ήταν και το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των στοιχείων της διατριβής.

## 2.4 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα – ΤΝΔ

Τα Νευρωνικά Δίκτυα, αποτελούν μορφές μη ρητών αλγεβρικών συναρτήσεων επεξεργασίας πληροφοριών που έχουν την ικανότητα μάθησης. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής (Κοτοπούλη και συν. 2007):

- 1) Λειτουργούν ως «μαύρα κουτιά» (Black Box), δεν είναι δηλαδή γνωστές οι αλγεβρικές μορφές των συναρτήσεων που περιγράφουν
- 2) Δεν απαιτούν ειδική γνώση του προβλήματος το οποίο μελετάμε
- 3) Το εκπαιδευμένο νευρωνικό δίκτυο αποτελεί το τελικό μοντέλο προσομοίωσης.

Για την ορθότερη κατανόηση των νευρωνικών δικτύων κρίνεται σκόπιμη η αναφορά στον ανθρώπινο οργανισμό και το τι αποτελούν για αυτόν οι νευρώνες. Από την επιστήμη της Βιολογίας είναι γνωστό πως βασική μονάδα του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι ένας ειδικός τύπος κυττάρου που ονομάζεται νευρώνας. Αυτό το κύτταρο θεωρείται ως βασικό στοιχείο επεξεργασίας της πληροφορίας και η κεντρική του λειτουργία συνίσταται στη λήψη της κατάλληλα διαμορφωμένης εισόδου (σε μορφή ηλεκτρονικού παλμού) και στην εκπομπή της εξόδου του, διαδικασία η οποία λαμβάνει χώρα, όταν η συνολική είσοδος του νευρώνα ξεπεράσει κάποια οριακή τιμή που λέγεται τιμή κατωφλίου (thresholdvalue). Οι αγωγοί μέσω των οποίων εκπέμπονται οι έξοδοι φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 5).

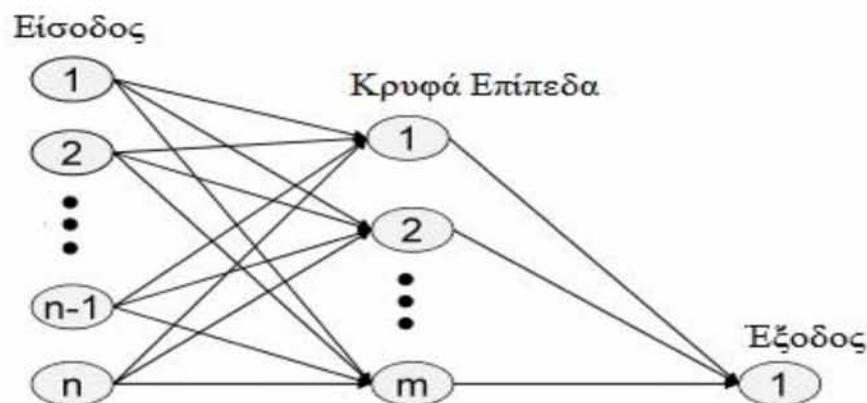


Εικόνα 6: Σχήμα ενός βιολογικού νευρώνα (Κοτοπούλη και συν. 2007)

Το βιολογικό νευρωνικό δίκτυο δέχεται σήματα εισόδου από τον εξωτερικό κόσμο μέσω νευρώνων, που μπορούμε να ονομάσουμε “νευρώνες εισόδου”, όπως στην περίπτωση της όρασης, της γεύσης και των άλλων αισθήσεων. Επίσης, το δίκτυο εκπέμπει σήματα εξόδου που επηρεάζουν το ανθρώπινο σώμα και τον εξωτερικό κόσμο, μέσω των αποκαλούμενων “νευρώνων εξόδου”. Μέσω της διαδικασίας εκπαίδευσης, η σχέση μεταξύ των νευρώνων εισόδου και εξόδου τροποποιούνται. Στα ζώα και τους ανθρώπους, σε ένα ποσοστό η συμπεριφορά είναι προγραμματισμένη εκ των προτέρων σε ορισμένα τμήματα του εγκεφάλου. Έτσι, ως αντίδραση σε δεδομένα σήματα εισόδου παράγονται τα αντίστοιχα σήματα εξόδου. Αν το αποτέλεσμα των σημάτων εξόδου δεν κρίνεται ικανοποιητικό, ο οργανισμός τροποποιεί τη συμπεριφορά του, αλλάζοντας τα σήματα εξόδου που παράγονται από τα δεδομένα σήματα εισόδου. Όταν επιτευχθεί η ικανοποιητική αντίδραση, η

πιθανότητα να επανεμφανιστεί αυτή μεγιστοποιείται. Με αυτόν τον τρόπο, το δίκτυο μαθαίνει μια νέα σχέση εισόδου-εξόδου (Καραμπερίδου και συν. 2007).

Γενικά τα μοντέλα πρόβλεψης, διαχωρίζονται σε στατιστικά και φυσικά μοντέλα με βάση τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζουν το πρόβλημα. Οι στατιστικές προσεγγίσεις καθορίζουν τις σχέσεις μεταξύ βάσεων δεδομένων προηγούμενων ετών, ενώ τα φυσικά μοντέλα σχετίζονται με σημερινές βάσεις δεδομένων. Όταν χρησιμοποιούνται τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα για πρόβλεψη, η φιλοσοφία που ακολουθείται είναι παρόμοια με τις παραδοσιακές στατιστικές προσεγγίσεις. Και στις δυο περιπτώσεις οι άγνωστοι παράμετροι του μοντέλου προσαρμόζονται με σκοπό την μικρότερη απόκλιση μεταξύ των εισόδων ή αλλιώς ιστορικών- παρελθοντικών δεδομένων με αυτά που προκύπτουν (Ali Najah et al., 2009). Ο πιο γνωστός τύπος προγράμματος είναι τα δίκτυα εμπρόσθιας διάδοσης (feed forward neural networks) γνωστά ως multilayer perceptron. Τα δίκτυα εμπρόσθιας τριπλής διάδοσης βασίζονται σε ένα γραμμικό συνδυασμό μεταβλητών οι οποίες στην συνέχεια μετατρέπονται από μια μη γραμμική λειτουργία του προγράμματος (Abuduetal., 2011).



Εικόνα 7: Το νευρωνικό δίκτυο που εμφανίζεται στο παραπάνω σχήμα. Είναι μορφής πολλαπλών εισόδων που καταλήγει σε μια και μόνο έξοδο (Abudu et al., 2011)

Ένα Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (Artificial Neural Network-ANN) είναι ένας αλγόριθμος γνωστικών διαδικασιών, ο οποίος βασίζεται στη γενίκευση της ανθρώπινης νευροφυσιολογίας, του τρόπου δηλαδή που ο εγκέφαλος επεξεργάζεται πληροφορίες. Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό πυκνά συνδεδεμένων μονάδων επεξεργασίας (νευρώνων) και στηρίζονται σε οργανωτικές αρχές με σκοπό τη συνεχή ενημέρωση της δομής και του τρόπου διασύνδεσης των στοιχείων τους. Η δομή τους έχει μορφή προσανατολισμένου γραφήματος, όπου οι νευρώνες αποτελούν τις μεταβλητές και οι ακμές με βάρη αποτελούν τις συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων εισόδου και των νευρώνων εξόδου (Καραμπερίδου και συν., 2007).

Ο ορισμός των Τεχνικών Νευρωνικών δικτύων είναι ένας αλγόριθμος γνωστικών διαδικασιών, ο οποίος βασίζεται στη γενίκευση της ανθρώπινης νευροφυσιολογίας, του τρόπου δηλαδή που ο εγκέφαλος επεξεργάζεται πληροφορίες (Καραμπερίδου και συν., 2007). Όλα τα νευρωνικά δίκτυα πρέπει να διαθέτουν δύο βασικά χαρακτηριστικά (Λυμπεροπούλου 2006):

- α) οι νευρώνες να έχουν ρυθμιζόμενες παραμέτρους ώστε να διευκολύνεται η διαδικασία της μάθησης, και
- β) το δίκτυο να αποτελείται από μεγάλο πλήθος νευρώνων ώστε να επιτυγχάνεται παραλληλισμός της επεξεργασίας και κατανομή της πληροφορίας.

Επιπλέον τα τεχνικά νευρωνικά δίκτυα θα πρέπει να διαθέτουν τρία βασικά χαρακτηριστικά έτσι ώστε η λειτουργία τους να θεωρείται ορθή όπως είναι: η αρχιτεκτονική του (architecture), δηλαδή ο τρόπος διασύνδεσης των νευρώνων, ο αλγόριθμος εκμάθησης (learning algorithm), η μέθοδος δηλαδή που ακολουθείται

για την προσαρμογή του βάρους κάθε σύνδεσης στο εξεταζόμενο πρόβλημα και η συνάρτηση ενεργοποίησης (activation function), με την οποία υπολογίζεται η έξοδος κάθε νευρώνα για δεδομένο άθροισμα εισόδων (και μπορεί να είναι διαφορετική για κάθε επίπεδο) (Sebakhy, 2006).

Τα τρία βασικά χαρακτηριστικά ενός Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου είναι η Αρχιτεκτονική του Δικτύου (Architecture), δηλαδή ο τρόπος διασύνδεσης των στοιχείων του, ο Αλγόριθμος Εκμάθησης (Learning Algorithm), η μέθοδος δηλαδή που ακολουθείται για τον προσδιορισμό του βάρους κάθε σύνδεσης και η Συνάρτηση Μεταβίβασης/Ενεργοποίησης (Activation function), με την οποία υπολογίζεται η έξοδος του δικτύου.

#### 2.4.1 Εφαρμογές τεχνητών νευρωνικών δικτύων

Οι βασικότερες εφαρμογές των ΤΝΔ, εφαρμόζονται για τους εξής παρακάτω λόγους (Λυμπεροπούλου 2006) :

- 1) Σχεδιασμός Ενεργειών
- 2) Χρονοδιαγράμματα
- 3) Αναγνώριση προτύπων
- 4) Πρόβλεψη

Παρακάτω εμφανίζονται διάφορες εφαρμογές των τεχνικών νευρωνικών δικτύων, οι οποίες έχουν ήδη υλοποιηθεί και κάποιες αποτελούν εμπορικά προϊόντα προς χρήση στους καταναλωτές (Livieris, 2008):



- (1) Αεροπλοΐα: Δημιουργία αυτόματων πιλότων και προγραμμάτων προσομοίωσης πτήσης, συστήματα ελέγχου πτήσης, ανίχνευση ελαττωμάτων σε τμήματα των αεροπλάνων.
- (2) Βιολογία: Βοήθεια στην κατανόηση του εγκεφάλου και άλλων συστημάτων, δημιουργία μοντέλων αμφιβληστροειδούς χιτώνα και κοχλία.
- (3) Γεωλογία: Ανάλυση πιθανότητας ύπαρξης πετρελαίου σε γεωλογικούς σχηματισμούς, ανάλυση πετρωμάτων σε ορυχεία, ανάλυση της μόλυνσης του περιβάλλοντος.
- (4) Επιχειρήσεις: Αξιολόγηση υπονηφίων για κάποια θέση, βελτιστοποίηση του συστήματος κράτησης θέσεων σε μεταφορικά μέσα, αναγνώριση γραφικού χαρακτήρα.
- (5) Ιατρική: Ανάλυση ομιλίας για την κατασκευή ακουστικών βοηθημάτων, διάγνωση βασισμένη στα συμπτώματα, έλεγχος χειρουργείου, εξαγωγή συμπερασμάτων από ακτινογραφίες, ανάλυση καρδιογραφημάτων και εγκεφαλογραφημάτων, εντοπισμός καρκίνου σε μαστογραφίες.
- (6) Κατασκευές: Αυτόματος έλεγχος, έλεγχος γραμμής παραγωγής, έλεγχος ποιότητας, επιλογή τμημάτων κατά το στάδιο της συναρμολόγησης.
- (7) Οικονομία: Υπολογισμός κινδύνου σε δάνεια και υποθήκες αναγνώριση πλαστογραφιών, μετάφραση χειρόγραφων εντύπων, εκτίμηση τιμών μετοχών και συναλλάγματος.
- (8) Περιβάλλον: Πρόγνωση του καπνού, ανάλυση τάσεων και καψικών συνθηκών.
- (9) Άμυνα: Χειρισμός μη επανδρωμένων οχημάτων και αεροπλάνων, αναγνώριση σημάτων από ραντάρ, δημιουργία «έξυπνων» όπλων, αναγνώριση και σκόπευση στόχων, βελτιστοποίηση αξιοποίησης αποθεμάτων.

### 2.4.2 Αρχές τεχνητών νευρωνικών δικτύων

Οι κυριότερες αρχικές δομές νευρωνικών δικτύων που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι παρακάτω (Graupe, 1997):

- (1) Ιστορικά, τα πρώτα νευρωνικά δίκτυα που βρήκαν εφαρμογή ήταν τα λεγόμενα perceptron, τα οποία προτάθηκαν από τον ψυχολόγο Frank Rosenblatt το 1958,
- (2) Το δεύτερο πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Artron (κυριότερη εφαρμογή του ήταν σε στατιστικές διακυμάνσεις) από τον R. Lee (1950).
- (3) Το Adaline, από τον Wildrow B., 1960 και το οποίο αποτελείται από έναν μοναδικό νευρώνα και όχι από δίκτυο νευρώνων.
- (4) Τέλος το γνωστό ως Madaline, από τον Widrow (1988), το οποίο αποτελεί εξέλιξη του Adaline.

Ουσιαστικά, τα νευρωνικά δίκτυα προσομοιώνουν με απλοποιημένο τρόπο τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου. Στηρίζονται στην ιδέα ότι ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες των βιολογικών νευρώνων μπορούν να απομονωθούν και να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία ενός απλοποιημένου εγκεφάλου που μιμείται κάποιες ικανότητες του αντίστοιχου ανθρώπινου, ιδιαίτερα την αναγνώριση προτύπων και την συνειρμική λογική. Με τα νευρωνικά δίκτυα δεν επιχειρείται μαθηματική προσομοίωση των εξεταζόμενων φαινομένων, αλλά εξαγωγή ποσοτικών συμπερασμάτων για συγκεκριμένα δεδομένα με βάση ανάλογες περιπτώσεις. Επομένως τα νευρωνικά δίκτυα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όταν:

- α) η μαθηματική προσομοίωση του προβλήματος είναι ιδιαίτερα δύσκολη ή αδύνατη,
- β) όταν δεν έχουν προσδιοριστεί με επαρκή ακρίβεια απαραίτητες παράμετροι (π.χ. η υδραυλική αγωγιμότητα ενός υδροφορέα) (Καραμπερίδου και συν. 2010).

#### 2.4.3 Μελέτες περιπτώσεων ΤΝΔ

Το νερό αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα για όλους τους τομείς που αφορούν τόσο τον άνθρωπο όσο και το οικοσύστημα. Για τον λόγο αυτό και η χρήση των νευρωνικών έχει εφαρμοστεί εκτενώς στην ποιότητα των υδάτων η οποία είναι ίσως και ο πρωταρχικός άξονας για την αειφορική ανάπτυξη και των δυο καθώς επηρεάζει μια σωρεία οργανισμών και οικοσυστημάτων. Η επεξήγηση των στοιχείων που υπάρχουν στα περισσότερα οικοσυστήματα, χρειάζονται μεγάλο χρονικό διάστημα να μελετηθούν για να προκύψει κάποιο αποτέλεσμα που θα οδηγήσει και σε κάποια λύση. Για τον λόγο αυτό η μοντελοποίηση των υδατικών παραμέτρων κρίνεται αναγκαία. Κάτι τέτοιο προσφέρουν και τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα αφού περιλαμβάνουν ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο το οποίο είναι η πρόβλεψη. Μάλιστα από μια πληθώρα μελετών, έχει αποδειχθεί πως τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν την ιδανικότερη λύση αφού οδηγούν στο επιθυμητό αποτέλεσμα με μεγαλύτερη ευστοχία σε σχέση με άλλες στατιστικές μεθόδους (Maieretal, 1999).

Υπάρχουν κάποιες εξαιρετικά ενδιαφέρουσες μελέτες περιπτώσεων όπου με την χρήση νευρωνικών δικτύων, κάτι το οποίο ήταν ιδιαίτερα δύσκολο να υπολογιστεί έγινε εφικτό. Οι εφαρμογές των νευρωνικών σε περιβαλλοντικούς τομείς παρουσιάζουν ένα τεράστιο εύρος, και αυτό φαίνεται από την χρήση τους για

την μοντελοποίηση βροχοπτώσεων, την πρόβλεψη πλημμύρων και περιβαλλοντικών παραμέτρων σε υδατικά διαμερίσματα (Dawson et al, 2001). Αυτοί οι τομείς είναι βαρύνουσας σημασίας και απώτερος σκοπός τους είναι η αποφυγή μελλοντικών προβλημάτων.

Η εφαρμογή των νευρωνικών είναι γνωστό ότι ξεκίνησε με την εισαγωγή του προγράμματος το 1943 από τους McCulloch και Pitts. Όταν τα νευρωνικά εφαρμόζονται για την μοντελοποίηση ή την πρόβλεψη, μια διαδικασία επιλογής της διαδικασίας πρέπει να εφαρμόζεται γιατί υπάρχουν πολλές δίοδοι εφαρμογής τους. Αρχικά, ο τύπος του προγράμματος που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να καθοριστεί, κατά δεύτερον πρέπει να επιλεγεί η δομή του προγράμματος, και τρίτον ποιες χρονοσειρές δεδομένων είναι οι ιδανικότερες για να εισαχθούν ως ανεξάρτητες μεταβλητές. Ουσιαστικά, ενώ τα νευρωνικά διαθέτουν μεγάλη αυτοματοποίηση, σημαντικές αποφάσεις χρήσης τους θα πρέπει να γίνουν ανάλογα με την περίπτωση (Dawson et al, 2001).

Με την χρήση των νευρωνικών δικτύων μπορεί να προσομοιωθεί μια οποιαδήποτε χρονοσειρά ενός φυσικού φαινομένου η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί από πολύ απλή έως ιδιαίτερα πολύπλοκη.

Παρακάτω, παρουσιάζονται μερικές περιπτώσεις μελετών (case studies) που αφορούν εφαρμογές των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων σε προβλήματα υδρολογίας, ποιότητας νερού και διαχείρισης υδατικών πόρων.

Χρονοσειρές βροχοπτώσεων από μηνιαίες παρατηρήσεις 41 ετών (1961 – 2003), του βροχομετρικού σταθμού Νεστορίου – Καστοριάς, λήφθηκαν με σκοπό την χρήση τους σε ένα επανατροφοδοτούμενο δίκτυο. Αυτό είχε 12 κόμβους εισόδου (βροχόπτωση κατά τους τελευταίους 12 μήνες), δύο κρυφά επίπεδα και

έναν κόμβο εξόδου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είχαν τελικό εκτιμώμενο σφάλμα ίσο με 0,94, το οποίο κρίθηκε ιδιαιτέρως ικανοποιητικό. Ουσιαστικά αυτό το οποίο βοήθησε το νευρωνικό ήταν η προσομοίωση χρονοσειράς η οποία ήταν ιδιαιτέρως ικανοποιητική (Kotopouli et al, 2006).

Μια άλλη εφαρμογή νευρωνικών δικτύων έγινε χρησιμοποιώντας χρονοσειρές από πηγές υδάτων. Αυτό το οποίο έγινε ήταν η σύγκριση των στοχαστικών μοντέλων ARIMA, με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, σχετικά με το ποιο πρακτικά είναι περισσότερο αξιόπιστο για την πρόβλεψη συγκεκριμένων παραμέτρων ποιότητας υδάτων. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν θερμοκρασία νερού, καθώς και διαλυμένο οξυγόνο. Αφού προσαρμόστηκαν μοντέλα το συμπέρασμα ήταν πως το εμπρόσθιας διάδοσης δίκτυο είχε σαφέστατα μεγαλύτερη ακρίβεια συγκριτικά με το μοντέλο ARIMA (Faruk, 2010).

Εξαιρετική περίπτωση εφαρμογής, ήταν η χρήση των δικτύων με σκοπό την πρόβλεψη της ποιότητας της λίμνης Taihu στην Κίνα. Με την εργασία που έγινε το 2011, επεξηγήθηκε η εκπαίδευση και η εφαρμογή των πολλαπλής διάδοσης δικτύων, με στοιχεία όπως το ολικό άζωτο, ολικός φώσφορος και διαλυμένο οξυγόνο. Τα στοιχεία αυτά επιλέχθηκαν μέσω της τεχνικής PCA έτσι ώστε να μην προκύψουν παρεκκλίσεις. Το αποτέλεσμα ήταν πως τόσο η μέθοδος PCA βοηθά στην ιδανικότερη επιλογή στοιχείων που υπάρχουν για την εφαρμογή τους σε ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο, καθώς και ότι τα ίδια τα δίκτυα έχουν μεγάλη ακρίβεια στην πρόβλεψη της ποιότητας των υδάτων. Για να προκύψει όμως κάτι τέτοιο θα πρέπει να υπάρχουν και τα κατάλληλα στοιχεία την κάθε φορά (Wang et al, 2011).

Μια εφαρμογή νευρωνικών δικτύων σε περιβαλλοντικές παραμέτρους έγινε το 2009 από τον Najah, στον ποταμό Johor που βρίσκεται στην Μαλαισία. Τα

δεδομένα της μελέτης αποτελούσαν στοιχεία όπως η αγωγιμότητα, το ποσοστό διαλυμένων στερεών, η θολρότητα του νερού και άλλα και με τη σειρά τους εισήχθησαν στον νευρωνικό για την εκπαίδευση του. Ο στόχος της μελέτης ήταν η πρόβλεψη των ποιοτικών παραμέτρων του νερού, στον ποταμό. Έτσι με την χρήση του προγράμματος, προέκυψε πως η πρόβλεψη των ποιοτικών στοιχείων ήταν ακριβής με μικρό ποσοστό σφάλματος της τάξης του 10% (Najah et al, 2009).

Γενικά, στις περιπτώσεις περιβαλλοντικών παραμέτρων, οι περισσότερες χρήσεις και εφαρμογές έχουν άμεση σχέση με την ποιότητα του νερού, καθώς είναι ένα θέμα το οποίο παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον είτε μέσω της προβλεπτικής ικανότητας των δικτύων ή με την μοντελοποίηση με την οποία προκύπτει η σημαντικότητα της χρήσης τους

Η μοντελοποίηση της παροχής μέσω της βροχόπτωσης και την ροής ενός ποταμού διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην διαχείριση υδατικών πόρων. Με την εργασία που έγινε το 2012 από τον Huo σε μια λεκάνη απορροής στην Κίνα, αποδείχτηκε πως με ένα σχετικό σφάλμα της τάξεως του 9%, η ροή ενός ποταμού προβλέπεται με πολύ μεγάλη ακρίβεια αποτέλεσμα που οφείλεται στην μοντελοποίηση των δεδομένων. Υδρολογικές διεργασίες όπως η κατανομή της βροχόπτωσης, και η εξατμισοδιαπνοή, χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της ροής ενός ποταμού και στην μελέτη αυτή αποδείχθηκε πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εξαιρετικά δεδομένα για την μοντελοποίηση. Όπως επεξηγήθηκε στην μελέτη αυτή τα νευρωνικά αναδεικνύουν τα αποτελέσματα με την μεγαλύτερη ακρίβεια, αξίζει όμως να αναφερθεί πως ίσως αποτελούν μια λάθος επιλογή σε περιοχές όπου τα δεδομένα μετεωρολογικής και υδρολογικής φύσεως δεν επαρκούν αριθμητικά. (Huo et al, 2012).

Το 2010, με την εργασία σχετικά με την υφαλμύριση των παράκτιων υδροφορέων, έγινε εφαρμογή τεχνητών νευρωνικών δικτύων και με τον τρόπο αυτό υπολογιζόταν ο συνολικός όγκος υφάλμυρου νερού. Πρόκειται για ένα δίκτυο ανάδρασης με νευρώνες εισόδου που αντιστοιχούν στις παροχές άντλησης και νευρώνα εξόδου την συνολική παροχή θαλασσινού νερού. Η εκπαίδευση έγινε με την χρήση αριθμητικής προσομοίωσης της ροής μέσω της μεθόδου οριακής ροής. Το αποτέλεσμα που προέκυψε, έδειξε πως η απλότητα των δικτύων είναι ίσως και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα, αφού δεν απαιτεί από τον χρήστη εξειδικευμένες γνώσεις πάνω στο φαινόμενο που πραγματεύεται, ενώ παράλληλα δημιουργεί και ορθά στοιχεία ενθαρρύνοντας την χρήση του ακόμη παραπάνω (Καραμπερίδου κ.α., 2010).

Περίπτωση η οποία είναι ιδιαιτέρως ενδιαφέρουσα είναι αυτή που έγινε το 2006 από δείγματα 5 λιμνών στην Τουρκία. Στην μελέτη αυτή αναπτύχθηκε ένα μοντέλο νευρωνικού δικτύου καθώς και ένα γενικό λογιστικό μοντέλο (GLM), τα οποία δούλευαν χωρίς να έχουν κανένα κρυφό επίπεδο. Ανεξάρτητες μεταβλητές όπως, η βιομάζα ιχθύων, το επίπεδο του νερού, η μορφολογία της λίμνης και άλλα χρησιμοποιήθηκαν. Στην μελέτη αυτή, δοκιμάστηκαν διάφορες εκδοχές των νευρωνικών με σκοπό να προκύψει και το ιδανικότερο αποτέλεσμα. Το αποτέλεσμα έδειξε πως και τα 2 προγράμματα, επεξήγησαν τα στοιχεία με ιδιαίτερη ακρίβεια, ύστερα από ακριβή μοντελοποίηση, ενώ προέβλεψαν κατά μεγάλο βαθμό και το επίπεδο των υδάτων. Κατά γενική ομολογία, με την χρήση υδρολογικών παραμέτρων, τα προγράμματα κατάφεραν να αποδείξουν πως το επίπεδο ευστοχίας είναι ιδιαιτέρως ικανοποιητικό. Τέλος αξίζει να αναφερθεί, πως από τη μελέτη, επεξηγήθηκε πως τα νευρωνικά αποτελούν ίσως την ιδανικότερη λύση χρήσης

κάποιου προγράμματος για την πρόβλεψη – μοντελοποίηση, εξαιτίας της πολυπλοκότητας των στοιχείων. Τα στοιχεία παρουσιάζουν δυσκολία αφού υπάρχουν πολλές παράμετροι φυσικοί και χημικοί, διαθέτουν ένα τεράστιο εύρος τιμών εξαιτίας των πολλών ετών που καταμετρώνται με αποτέλεσμα να κρίνεται αδύνατη η αποσαφήνιση της σημαντικότητας κάποιων εξ αυτών κάνοντας τα νευρωνικά ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στην έρευνα (Tan et al., 2006).

Το 2009 με την χρήση των νευρωνικών, έγινε πρόβλεψη αλατότητας σε υπόγειους υδροφορείς στην Σαντορίνη σε 34 επιλεγμένα σημεία στην παράκτια ζώνη της περιοχής μελέτης. Οι μεταβλητές στην περίπτωση αυτή ήταν πολλές και η δυσκολία επιλογής, των πιο κατάλληλων, μεγάλη. Για τον λόγο αυτό τα νευρωνικά, ήταν η ιδανικότερη λύση εξαιτίας της μεγάλης ευελιξίας που παρουσιάζουν. Στην μελέτη, αναπτύχθηκε μια μέθοδος βελτιστοποίησης βασισμένη σε νευρωνικά, τα οποία διέθεταν πολλά υποπρογράμματα, τα οποία με την σειρά τους προέβλεπαν την αλατότητα σε σημεία του μέρους δειγματοληψίας.. Το θετικό που προέκυψε ήταν η τεράστια διαφορά σε χρονική διάρκεια, αφού χωρίς την χρήση των μοντέλων μια τέτοια διαδικασία θα ήταν χρονοβόρα (Kourakos et al., 2009).

Η χρήση δυο μη γραμμικών συναρτήσεων οι οποίες χρησιμοποιούν τεχνολογία μαύρου κουτιού χρησιμοποιήθηκε το 2002. Τα νευρωνικά δίκτυα συγκρίθηκαν με το πρόγραμμα ανασυγκρότησης των φάσεων (PSR – Phase Space Reconstruction) για το ποιο είναι το ιδανικότερο στην πρόβλεψη της ροής σε έναν ποταμό. Αυτό επιτεύχθηκε με προβλέψεις της μιας ημέρας και επτά από μετρήσεις του ποταμού Τσάο Φράγια (Chao Phraya) στην Ταϊλάνδη. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι προβλέψεις είχαν το επιθυμητό αποτέλεσμα, ενώ τα νευρωνικά είχαν πλεονέκτημα σε ότι αφορά τον αριθμό των μεταβλητών και μετρήσεων που θα



χρησιμοποιούσαν. Ουσιαστικά προέκυψε πως: 1) η χρήση νευρωνικών για την πρόβλεψη της απορροής είναι ιδανική, 2) η επίδραση της εκπαίδευσης του νευρωνικού είναι βαρύνουσας σημασίας και 3) οι αποκλίσεις που ενδέχεται να προκύψουν διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο (Sivakumar et al., 2002).

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα ή δίκτυα τεχνητής νοημοσύνης παρέχουν ένα γρήγορο και με πολλές εφαρμογές μέσο, για την δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης της ροής σε ποτάμια ύδατα συγκριτικά με πολλές άλλες συμβατικές μεθόδους. Η μελέτη που έγινε το 1999, παρουσίασε μια μέθοδο βελτίωσης της γενικότητας των στοιχείων κατά την εκπαίδευση, προσθέτοντας ένα σύστημα καθοδήγησης ως προς της πολλαπλή παλινδρόμηση. Αυτό που αποδείχτηκε είναι πως τα νευρωνικά, έχουν περιθώρια βελτίωσης και η μετατροπή των στοιχείων βοηθά στην καλύτερη εκπαίδευση του προγράμματος για να εξάγει ορθότερα αποτελέσματα, στην προκειμένη περίπτωση τη ροή ενός ποταμού (Imrie et al., 2000).

Με την χρήση των νευρωνικών επίσης, αναπτύχθηκαν μοντέλα τα οποία εμφάνιζαν την παρουσία ή απουσία τριών ειδών μικρού μεγέθους ιχθύων. Οι ιχθείς και δέκα περιβαλλοντικές μεταβλητές λήφθηκαν υπόψη, χρησιμοποιώντας ηλεκτραλιεία σε 464 διαφορετικά σημεία. Με την χρήση του νευρωνικού, η επίδοση της αναγνώρισης μετά από 500 επαναλήψεις έδειξε πως στο σημείο δειγματοληψίας τα ποσοστά για τα είδη ήταν 82,1%, 87,7% και 90,1%. Αποτέλεσμα είναι πως η επίδοση της πρόβλεψης που προέκυψε δείχνει να υπάρχει περιθώριο σημαντικής ανάπτυξης των νευρωνικών στον τομέα αυτό, κάτι το οποίο θα οδηγήσει σε ακόμη μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας στο μέλλον (Mastorillo et al, 1997).

Μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα περίπτωση είναι η χρήση των νευρωνικών ως μέσο για την αναγνώριση των ειδών των ιχθύων. Υπάρχουν κάποιες παράμετροι, η

χρήση των οποίων βοηθά στην διαφοροποίηση τριών ειδών (Sardine, anchovy, horse mackerel). Η δειγματοληψία έγινε με τράτα και υδροακουστικά μέσα στον Θερμαϊκό κόλπο. Τα στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό την εκπαίδευση του νευρωνικού, μέσω της οποίας το αποτέλεσμα ήταν να βρεθούν διάφορες ομοιότητες και διαφορές για την διαφοροποίηση των ειδών. Το αποτέλεσμα που προέκυψε έδειξε πως η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να αντικαταστήσει τις κλασσικές στατιστικές μεθόδους, αλλά προσφέρει μια εναλλακτική όταν κάποιες από τις παραμέτρους δεν υπάρχουν και όταν το αποτέλεσμα που προκύπτει δεν ικανοποιεί (Haralabousetal., 1996).

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Διαδικασία εφαρμογής ΤΝΔ

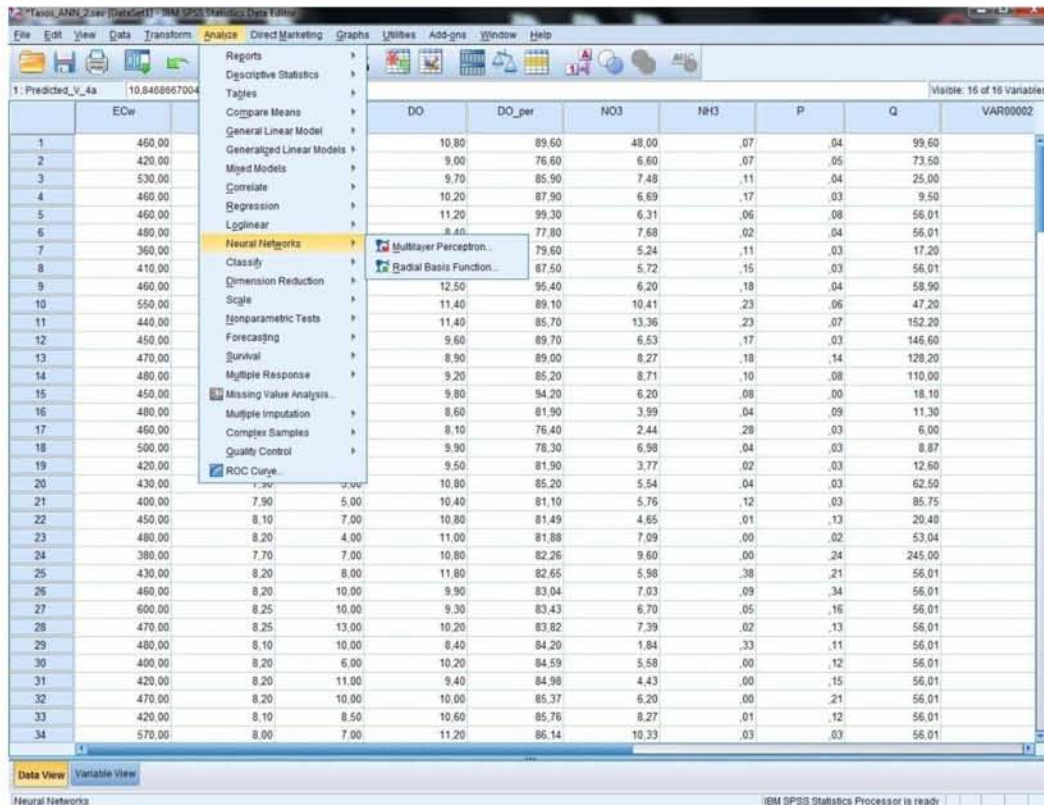
Χρησιμοποιώντας το στατιστικό πρόγραμμα SPSS 19, εισήχθησαν τα δεδομένα, ώστε να γίνει η ανάλυση τους (Εικόνα 8).

	ECw	pH	T	DO	DO per	NO3	NH3	P	Q	VAR00002
1	460.00	8.00	7.50	10.80	89.60	48.00	.07	.04	99.60	
2	459.00	8.20	8.50	9.60	76.60	6.60	.07	.06	73.60	
3	630.00	8.20	10.00	9.70	85.90	7.48	.11	.04	25.00	
4	460.00	8.30	9.00	10.20	87.90	6.69	.17	.03	9.50	
5	460.00	8.10	11.00	11.20	99.30	6.31	.06	.08	56.01	
6	480.00	8.30	12.00	8.40	77.80	7.68	.02	.04	56.01	
7	380.00	7.25	12.00	8.60	79.60	5.24	.11	.03	17.20	
8	410.00	7.98	8.00	10.55	87.50	5.72	.15	.03	56.01	
9	460.00	8.10	4.00	12.60	96.40	6.20	.18	.04	58.90	
10	560.00	8.20	5.00	11.40	89.10	10.41	.23	.06	47.20	
11	440.00	8.10	3.50	11.40	86.70	13.36	.23	.07	152.20	
12	460.00	8.20	12.00	9.60	89.10	6.53	.11	.03	146.60	
13	470.00	7.90	16.00	8.90	89.00	8.27	.18	.14	128.20	
14	480.00	8.10	12.00	9.20	85.20	8.71	.10	.08	110.00	
15	450.00	8.20	14.00	9.60	94.20	6.20	.08	.00	18.10	
16	480.00	8.00	13.50	8.60	81.90	3.99	.04	.09	11.30	
17	460.00	8.20	12.00	8.10	76.40	2.44	.28	.03	6.00	
18	600.00	8.20	5.50	9.90	78.30	6.98	.04	.03	8.87	
19	420.00	8.20	8.00	9.60	81.90	3.77	.02	.03	17.60	
20	430.00	7.90	5.00	10.80	85.20	5.54	.04	.03	62.50	
21	400.00	7.90	5.00	10.40	81.10	5.78	.12	.03	85.75	
22	450.00	8.10	7.00	10.80	81.49	4.65	.01	.13	20.40	
23	480.00	8.20	4.00	11.00	81.88	7.09	.00	.02	53.04	
24	390.00	7.70	7.00	10.90	82.26	9.60	.00	.21	216.00	
25	430.00	8.20	8.00	11.80	82.66	5.98	.38	.21	56.01	
26	460.00	8.20	10.00	9.90	83.04	7.03	.09	.34	56.01	
27	600.00	8.25	10.00	9.30	83.43	6.70	.05	.16	56.01	
28	470.00	8.25	13.00	10.20	83.82	7.30	.02	.13	56.01	
29	460.00	8.10	10.00	9.40	84.80	1.04	.00	.11	50.01	
30	400.00	8.20	6.00	10.20	84.59	5.58	.00	.12	56.01	
31	420.00	8.20	11.00	9.40	84.98	4.43	.00	.15	56.01	
32	470.00	8.20	10.00	10.00	85.37	6.20	.00	.21	56.01	
33	420.00	8.10	8.50	10.60	85.76	8.27	.01	.12	56.01	
34	570.00	8.00	7.00	11.20	86.14	10.33	.03	.03	50.01	

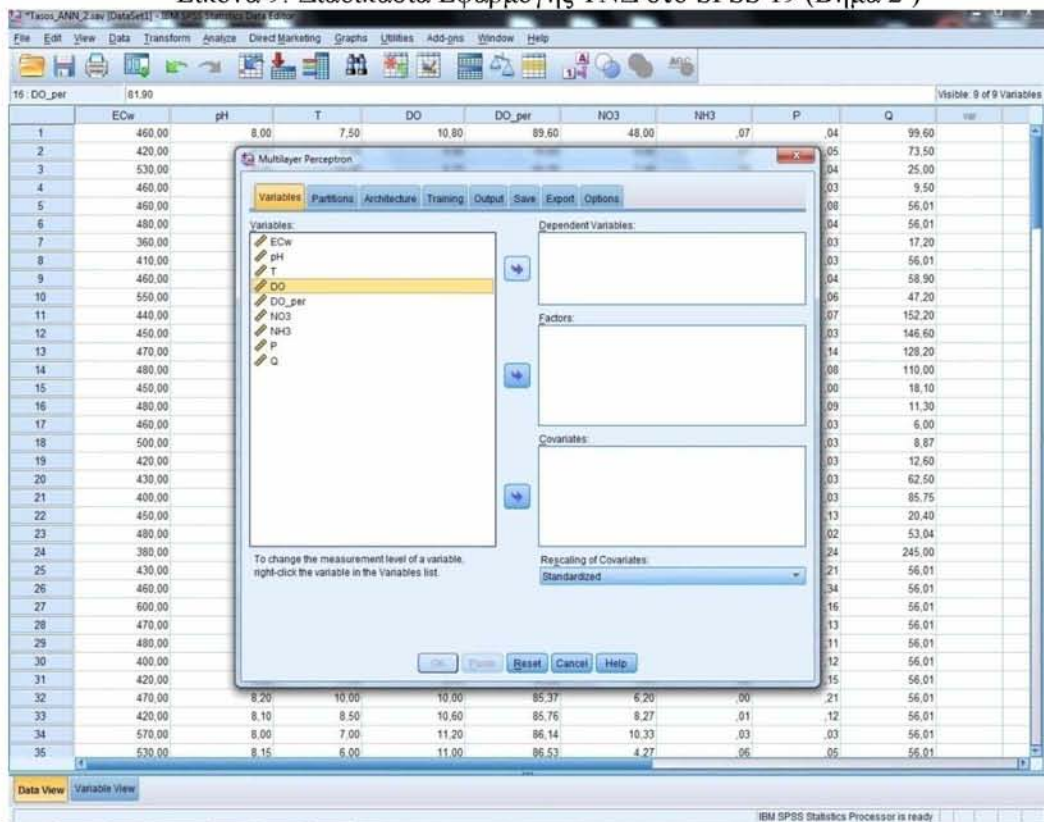
Εικόνα 8: Εισαγωγή δεδομένων στο SPSS 19 (Βήμα 1<sup>ο</sup>)

Στο επόμενο στάδιο, καθορίστηκε η διαδικασία εφαρμογής τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Συγκεκριμένα τα βήματα που ακολουθήθηκαν (Εικόνα 9):

1. “Analyse”
2. “Neural Networks”
3. Multilayer Perceptron



Εικόνα 9: Διαδικασία Εφαρμογής ΤΝΔ στο SPSS 19 (Βήμα 2<sup>ο</sup>)



Εικόνα 10: Διαδικασία εφαρμογής ΤΝΔ στο SPSS 19 (Βήμα 3<sup>ο</sup>)

Μετά την επιλογή των multilayer perceptron (Εικόνα 9) χρειάζεται να επιλεγούν οι εξαρτημένες μεταβλητές (dependent variable) και οι μεταβλητές που θα βοηθήσουν στο να προκύψει το αποτέλεσμα (covariates). Στην περίπτωση της διατριβής αυτής ως dependent variable επιλέχθηκε το διαλυμένο οξυγόνο (DO), και οι υπόλοιπες παράμετροι τοποθετήθηκαν στους covariates. Σημαντικό στοιχείο που προκύπτει από την χρήση του προγράμματος, για την εφαρμογή των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, είναι η δυνατότητα που δίνει το πρόγραμμα με την εμφάνιση του παράθυρου «alert» στο οποίο ο χρήστης μπορεί να ορίσει τις τιμές ως αριθμητικές ή οτιδήποτε άλλο παρέχει το SPSS 19, ενώ η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει και αυτόματα (Εικόνες 9,10).

Στο επόμενο στάδιο της διαδικασίας (Εικόνα 11) θα πρέπει να επιλεγθούν τα partition της διαδικασίας, δηλαδή ο διαχωρισμός μεταξύ των μεταβλητών, όπου στην περίπτωση της μελέτης επιλέχθηκε η τυχαία αντιστοιχία των περιπτώσεων με βάση τον σχετικό αριθμό που προκύπτει από τις μεταβλητές (randomly assign cases based on relative number of cases).

Η αρχιτεκτονική του δικτύου είναι ουσιαστικά ο τρόπος έκφρασης της δομής του νευρωνικού δικτύου. Στην εφαρμογή που εξετάζουμε (Εικόνα 12) χρησιμοποιήθηκε ένα κρυφό επίπεδο (στην περίπτωση της επιλογής των multilayerperceptron τα κρυφά πεδία μπορούν να είναι 1 ή 2), ενώ τα στοιχεία τα οποία μπορούν να εισαχθούν ως ανεξάρτητες μεταβλητές μπορούν να φτάνουν έως τα 50.

Τα είδη της εκπαίδευσης (Εικόνα 13) που παρέχει το SPSS19 είναι 3: α) Batch, β) online και γ) minibatch. Στην περίπτωση της διατριβής ο τύπος batch ήταν ο ιδανικότερος, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις ελαχιστοποιεί το ολικό

σφάλμα που προκύπτει. Ωστόσο ο χρόνος που απαιτείται σε αυτό το είδος της εκπαίδευσης είναι πολύ μεγάλος και ίσως αποτελεί το μοναδικό μειονέκτημα εφαρμογής του. Όπως προκύπτει από τις οδηγίες χρήσης του SPSS 19 ο τύπος αυτής της εκπαίδευσης ενδείκνυται για μικρές ποσότητες δεδομένων το οποίο ίσως αποτελεί και έναν άλλο λόγο χρήσης.

Αποθήκευση (Save) (Εικόνα 14): γίνεται η επιλογή του μέρους αποθήκευσης του αρχείου καθώς και η ονομασία της προβλεπόμενης μεταβλητής η οποία προκύπτει από την χρήση των νευρωνικών. Στην περίπτωση της διατριβής είναι το διαλυμένο οξυγόνο (DO).

Με την εντολή του output (Εικόνα 15) γίνεται εφικτή η επιλογή των γραφημάτων που θέλουμε να προκύψουν από την χρήση των στοιχείων μας στο πρόγραμμα.

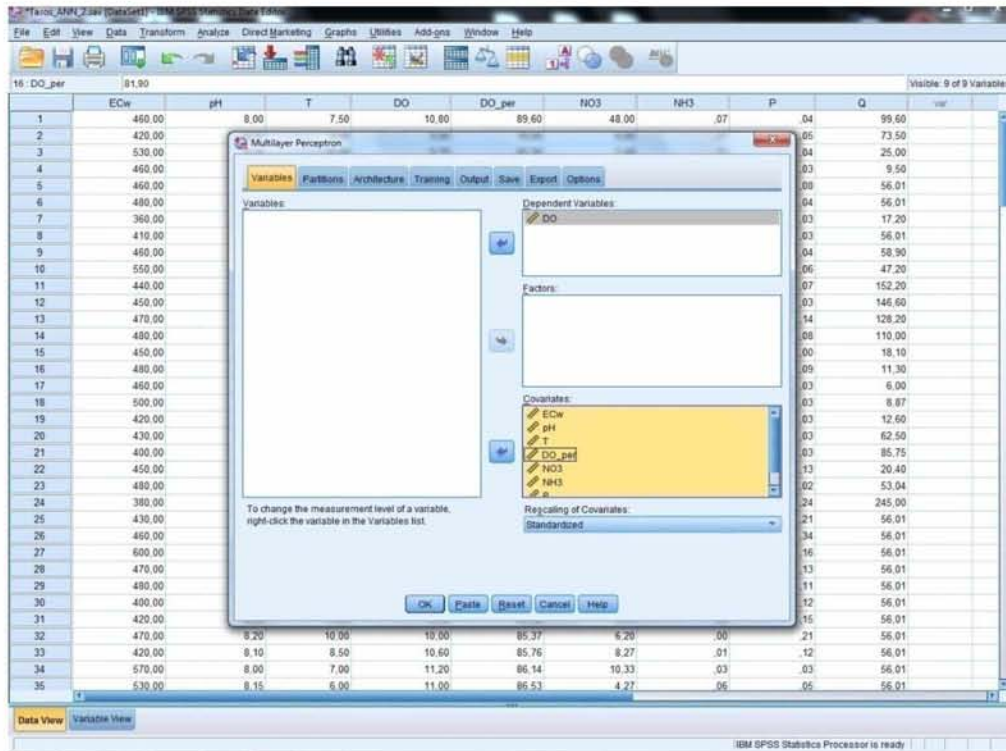
Μέσω του export (Εικόνα 16) δίνεται η δυνατότητα της εξαγωγής του αρχείου στο σημείο αποθήκευσης του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Μέσω της εντολής options (Εικόνα 17) εμφανίζεται και το πλεονέκτημα χρήσης SPSS 19 αφού επιλέγεται ο χρόνος εκπαίδευσης, και το ποσοστό του ελαχίστου σφάλματος κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Στην διατριβή αυτή ο χρόνος ήταν 15 λεπτά και 0,0001 το ελάχιστο σφάλμα που επιτράπηκε κατά την εκπαίδευση του δικτύου.

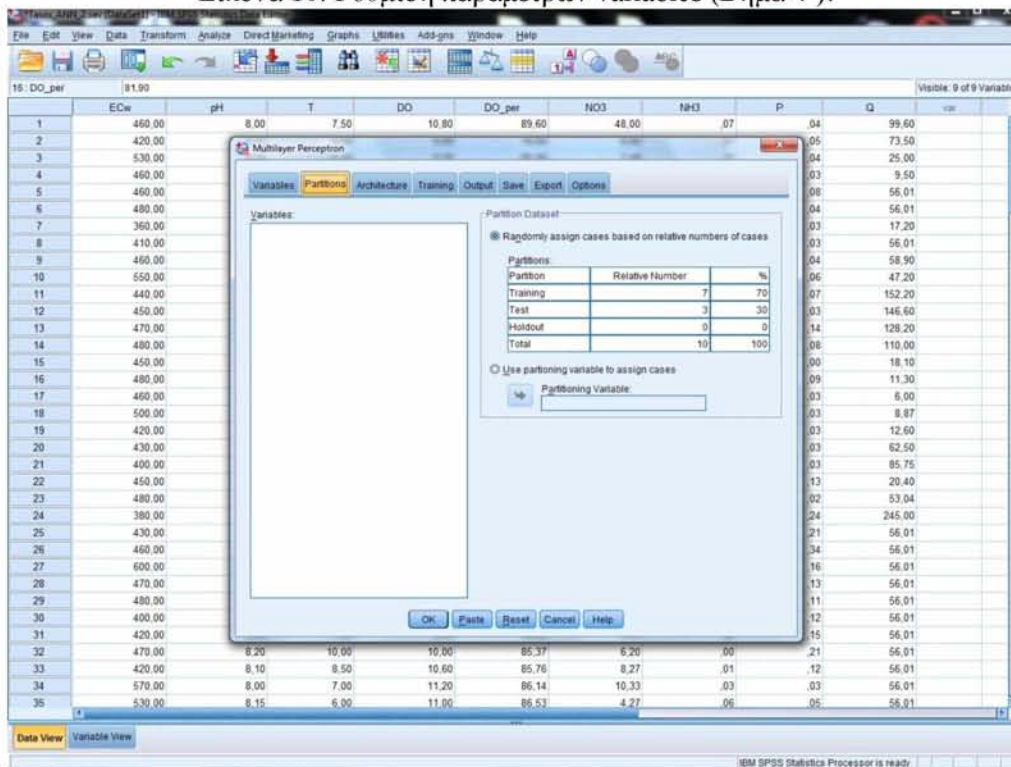
Τέλος, αφού ρυθμιστεί η κάθε παράμετρος ανάλογα με της ανάγκες της εκάστοτε μελέτης τότε πατώντας την εντολή “ok” και το πρόγραμμα μας δίνει τα αποτελέσματα της χρήσης των νευρωνικών. Παρακάτω εμφανίζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν σχηματικά και σε πίνακα, από την χρήση του



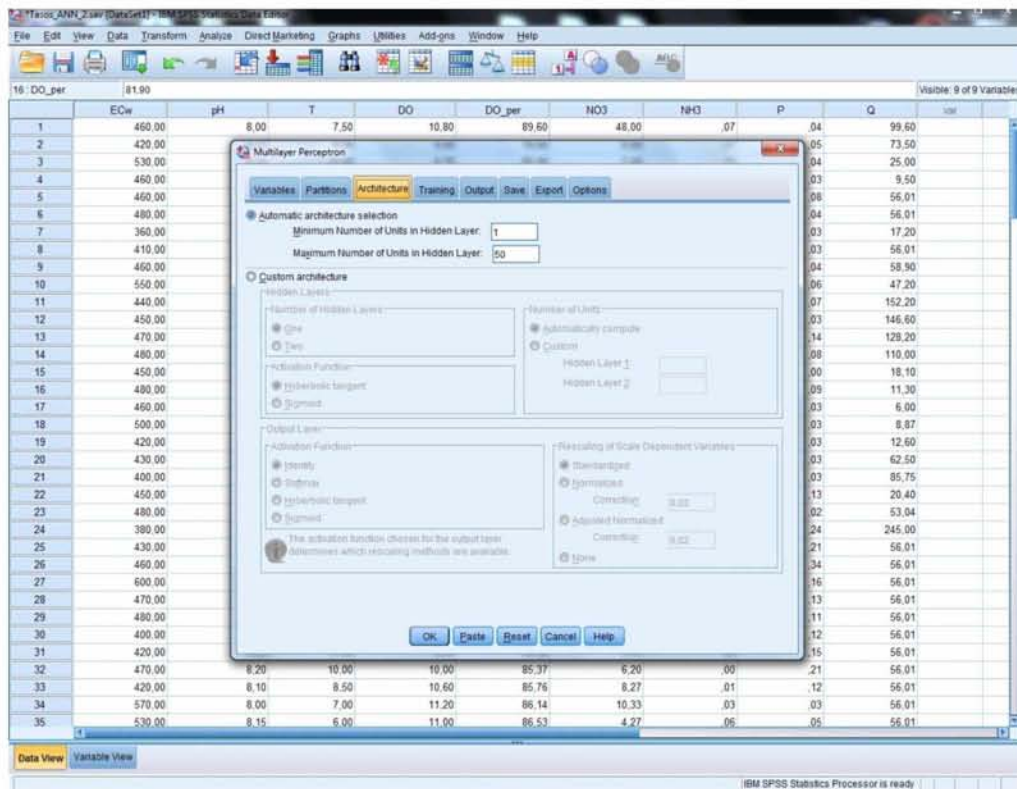
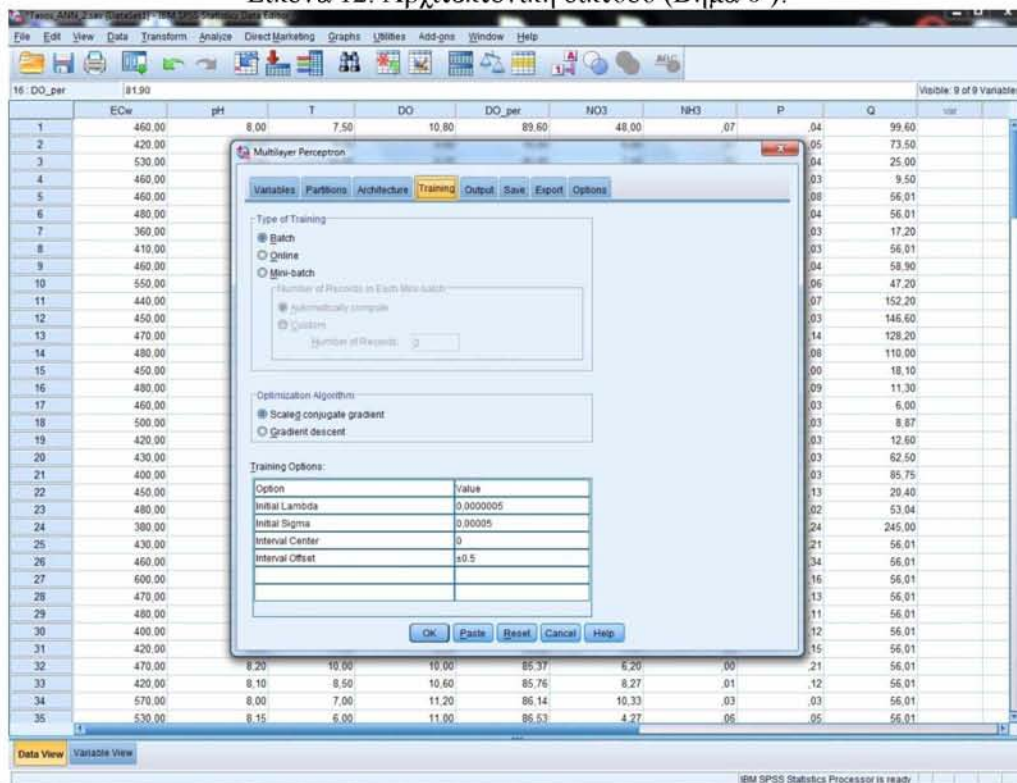
προγράμματος (Εικόνες: 18, 19, 20, 21, 22), ενώ η ανάλυση τους γίνεται στην παράγραφο 3.2,



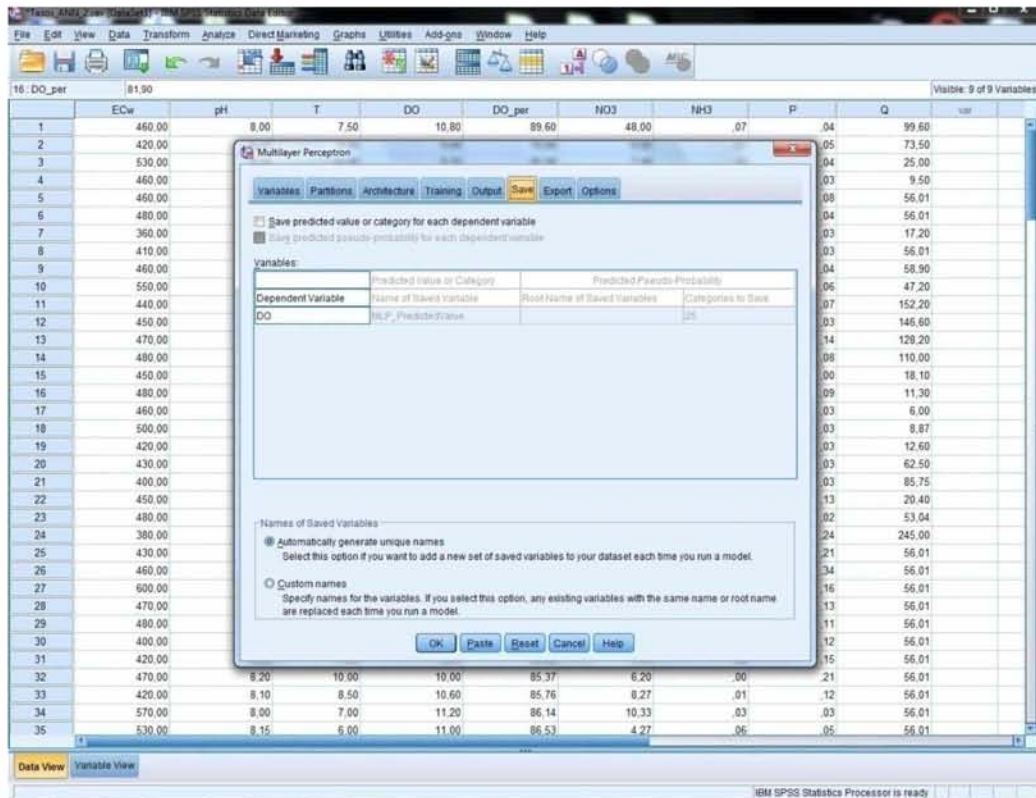
Εικόνα 10: Ρύθμιση παραμέτρων variables (Βήμα 4<sup>ο</sup>).



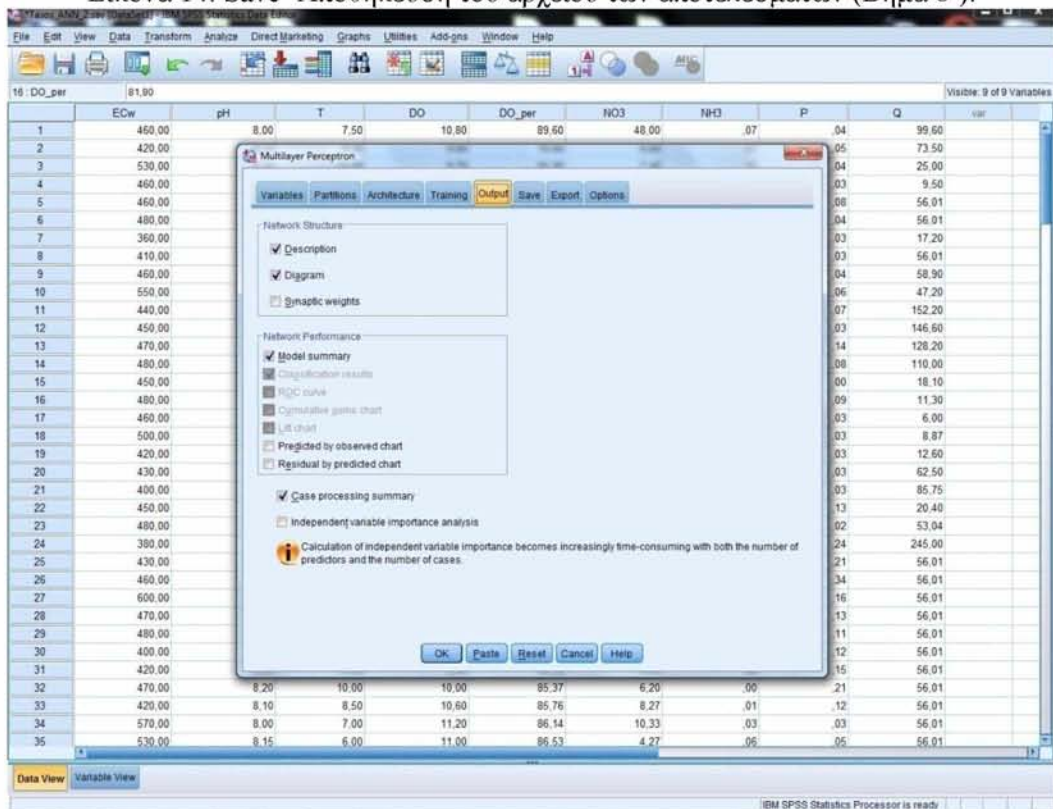
Εικόνα 11: Partitions, διαχωρισμός τμήματος εφαρμογής ΤΝΔ (βήμα 5<sup>ο</sup>).

Εικόνα 12: Αρχιτεκτονική δικτύου (Βήμα 6<sup>ο</sup>).Εικόνα 13: Εκπαίδευση ΤΝΔ, τύπος Batch (Βήμα 7<sup>ο</sup>).

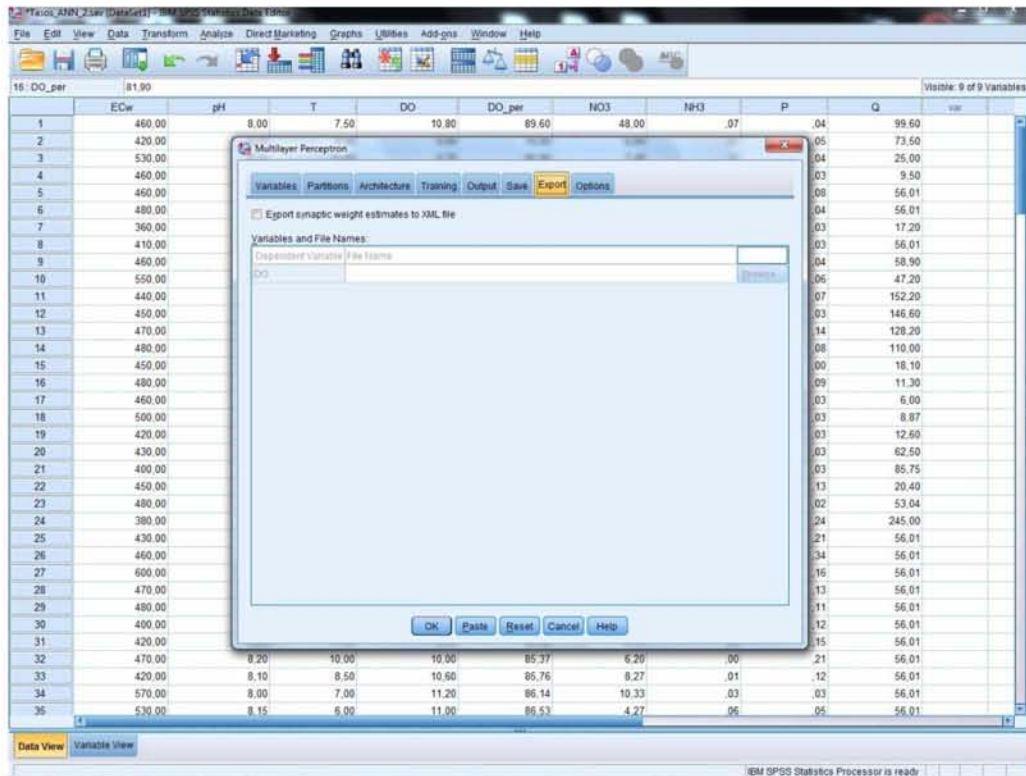




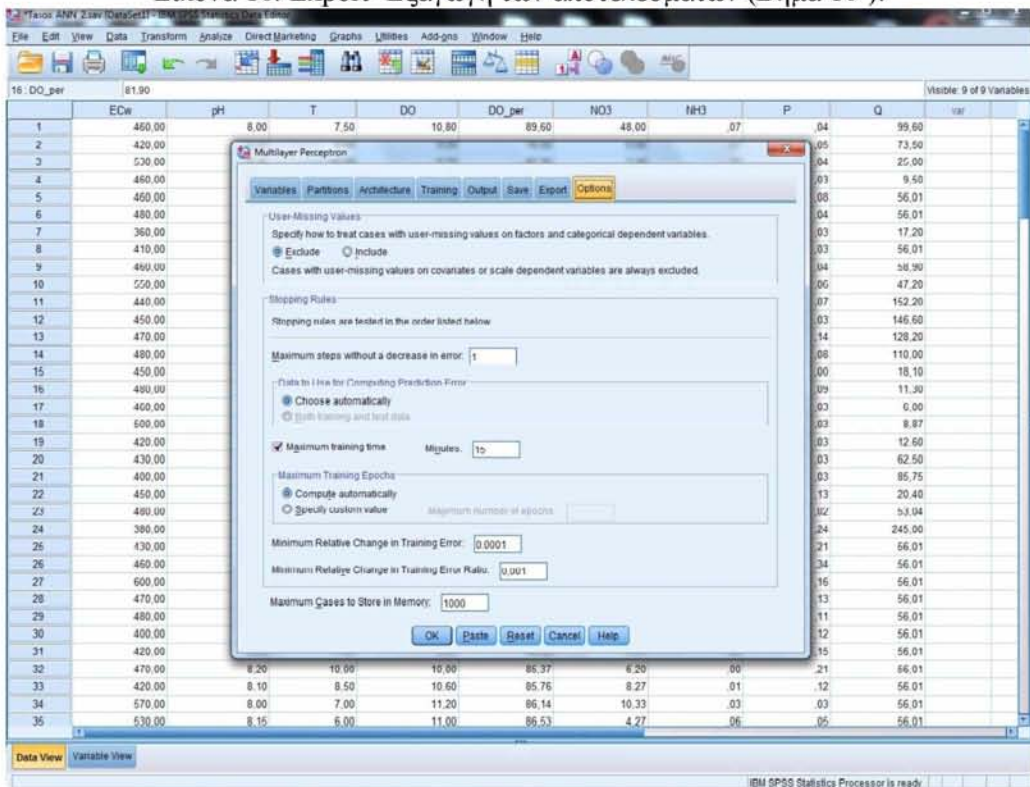
Εικόνα 14: Save- Αποθήκευση του αρχείου των αποτελεσμάτων (Βήμα 8<sup>ο</sup>).



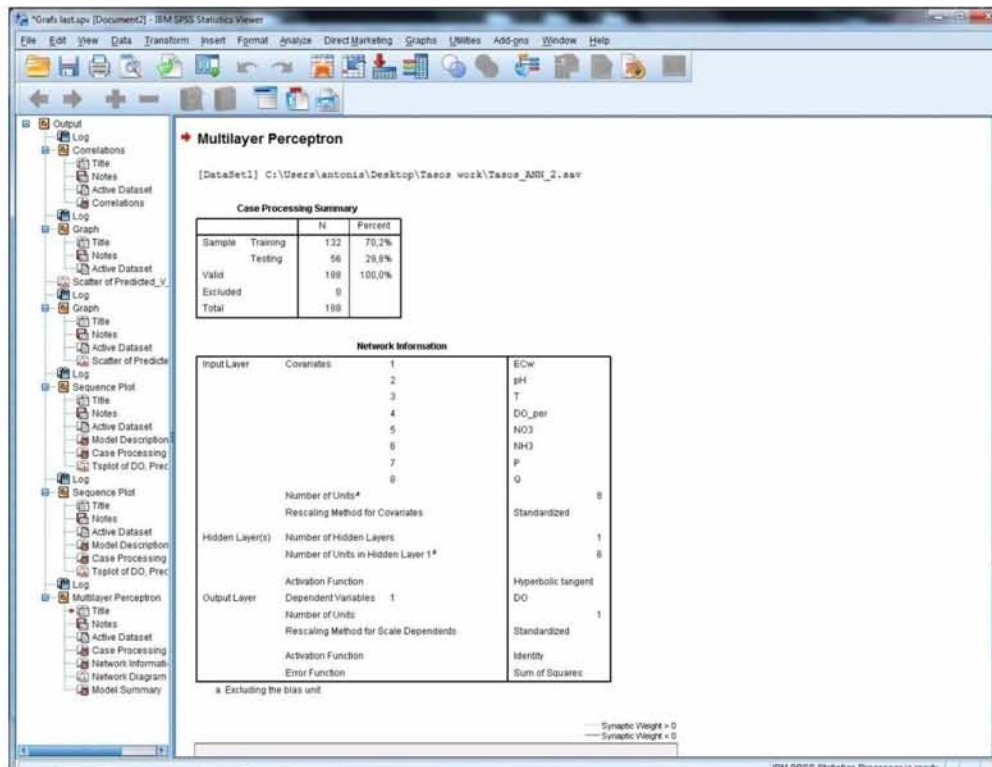
Εικόνα 15: Εντολή output (Βήμα 9<sup>ο</sup>).



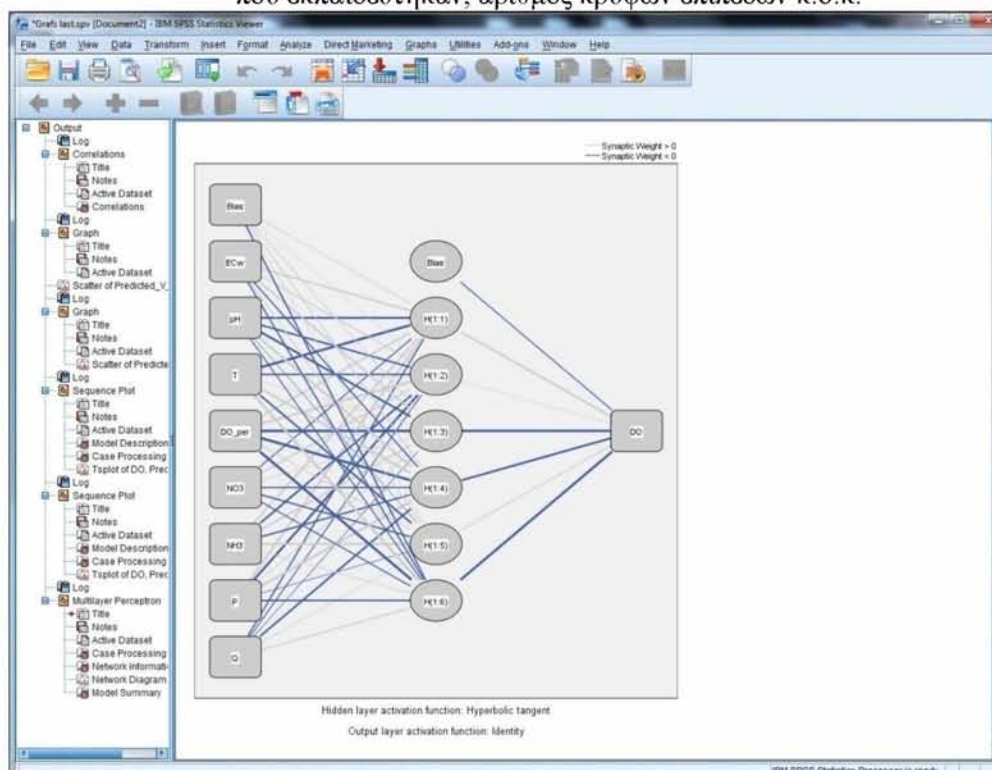
Εικόνα 16: Export- Εξαγωγή των αποτελεσμάτων (Βήμα 10<sup>ο</sup>).



Εικόνα 17: Επιλογές (Options) όπως για παράδειγμα χρόνος εκπαίδευσης (Βήμα 11<sup>ο</sup>).

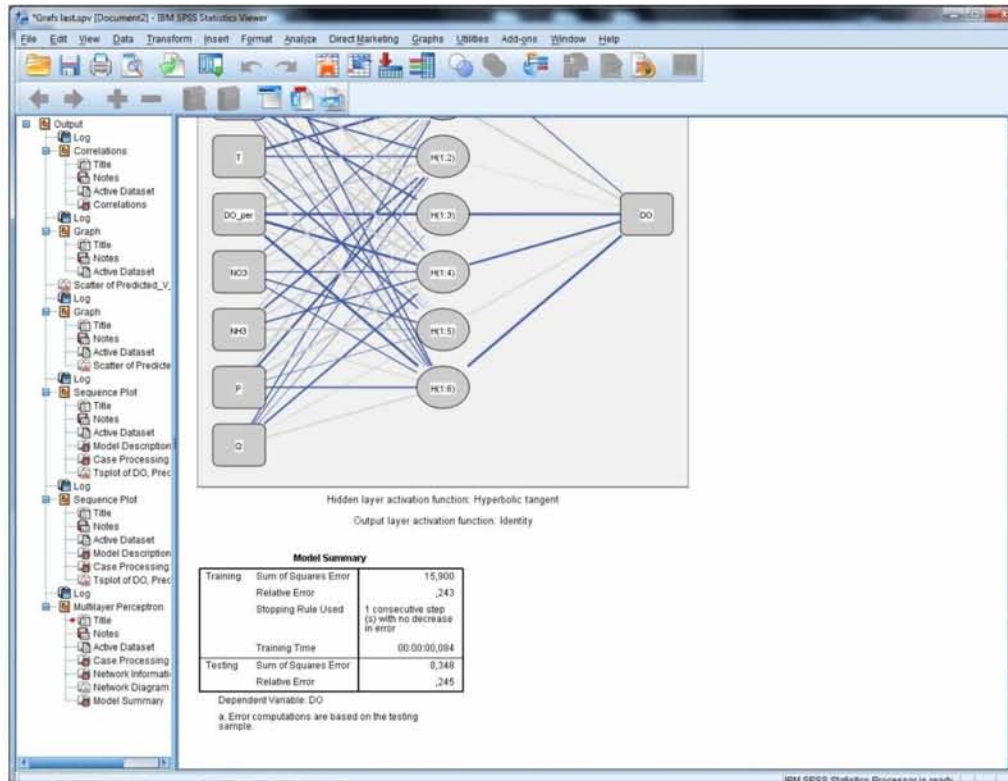


Εικόνα 18: Εμφάνιση αποτελεσμάτων: ποσοστό επιτυχίας πρόβλεψης, αριθμός στοιχείων που εκπαιδεύτηκαν, αριθμός κρυφών επιπέδων κ.ο.κ.

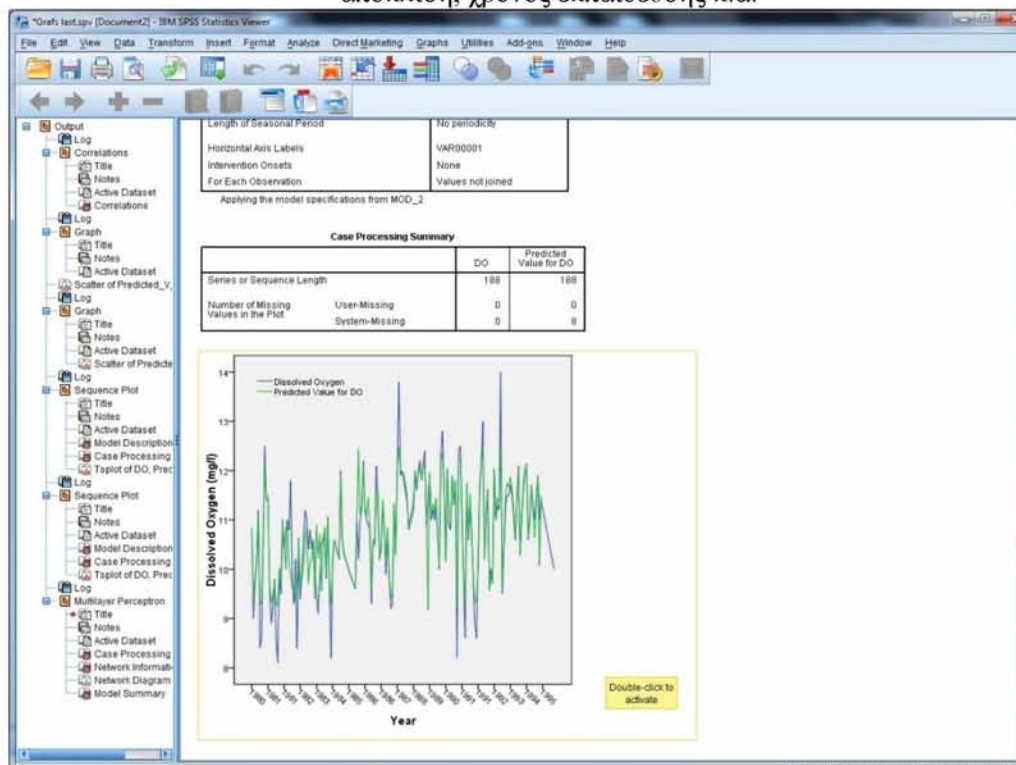


Εικόνα 19: Κρυφό επίπεδο, εκπαίδευση του νευρωνικού.

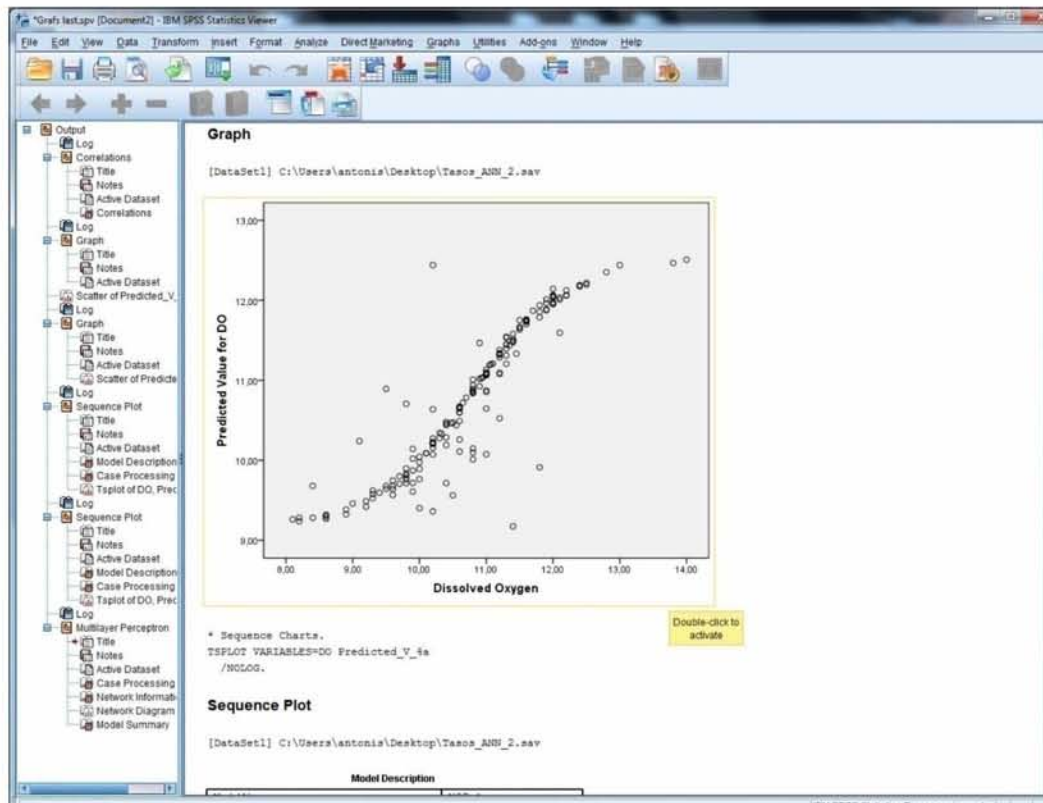




Εικόνα 20: Περίληψη μοντέλου : εμφάνιση στοιχείων όπως τετραγωνικό σφάλμα, τυπική απόκλιση, χρόνος εκπαίδευσης κ.α.



Εικόνα 21: Αποτέλεσμα της εφαρμογής του νευρωνικού (Σύγκριση προβλεπόμενης τιμής με την κανονική).



Εικόνα 22: Διάγραμμα διασποράς προβλεπόμενης τιμής με την υπάρχουσα τιμή.

### 3.2 Εφαρμογή των ΤΝΔ στην περιοχή μελέτης

Έχοντας μελετήσει μια πληθώρα περιπτώσεων σε διάφορους τομείς όπως η ιχθυολογία, η υδρολογία και ότι έχει σχέση με περιβαλλοντικές παραμέτρους, έγινε η δοκιμή εφαρμογής των δεδομένων σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.

Τα νευρωνικά δίκτυα εφαρμόστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην διατριβή έχοντας στη διάθεση μας, όπως προαναφέραμε μετρήσεις για τις παραμέτρους: ηλεκτρική αγωγιμότητα, pH, θερμοκρασία, διαλυμένο οξυγόνο, νιτρικά, αμμωνία, ολικό φώσφορο και παροχή. Ουσιαστικά έγινε μια προσπάθεια δοκιμής πολλών διαφορετικών μοντέλων με γνώμονα την χρήση του διαλυμένου οξυγόνου ως σημείο εξόδου με στόχο το ιδανικότερο αποτέλεσμα.. Παρακάτω περιγράφουμε

αναλυτικά τα βήματα που ακολουθούμε και τα κριτήρια βάσει των οποίων καταλήξαμε στο τελικό μοντέλο.

Ένα νευρωνικό δίκτυο πρέπει να αποτελείται τουλάχιστον τρία επίπεδα: ένα επίπεδο εισόδου (input layer), ένα τουλάχιστον κρυφό επίπεδο (hidden layer) και ένα επίπεδο εξόδου (output layer). Το επίπεδο εισόδου αποτελείται από τις ανεξάρτητες μεταβλητές (predictors). Το κρυφό επίπεδο μπορεί να είναι ένα ή δύο, κάθε ένα από τα οποία αποτελείται από ένα πλήθος κόμβων, ενώ το επίπεδο εξόδου αποτελείται από την εξαρτημένη μεταβλητή.

Σε όλα τα μοντέλα που δοκιμάσαμε ορίσαμε σαν επίπεδο εξόδου την παράμετρο διαλυμένο οξυγόνο. Δοκιμάσαμε μοντέλα με ένα ή δύο κρυφά επίπεδα και μέγιστο αριθμό κόμβων πενήντα. Το συνολικό δείγμα μετρήσεων ή παρατηρήσεων χωρίστηκε σε δύο υποσύνολα:

- 1) Το πρώτο υποσύνολο, αποτελεί το 70% του συνολικού δείγματος και είναι το δείγμα εκπαίδευσης (training sample),
- 2) Το δεύτερο υποσύνολο αποτελεί το 30% του συνολικού δείγματος και είναι το δείγμα πιστοποίησης ή ελέγχου (validation or testing sample).

Τα διάφορα μοντέλα που δοκιμάσαμε διέφεραν ως προς τις μεταβλητές εισόδου. Επειδή οι μετρήσεις όλων των παραμέτρων αντιστοιχούν σε χρονικές σειρές, για να οριστούν ποιες από τις παραμέτρους που υπάρχουν στην παρούσα διατριβή θα πρέπει να προηγηθεί μια ανάλυση συσχετίσεων (correlation analysis) ή σε περίπτωση μεγάλου αριθμού παραμέτρων, μια ανάλυση κύριων συνιστώσεων (principal component analysis). Αυτό έχει ως σκοπό την εμφάνιση των παραμέτρων που επηρεάζουν τις τιμές του διαλυμένου οξυγόνου έτσι ώστε να αξιοποιηθούν ως στοιχεία για το μοντέλο. Ένας άλλος τρόπος που δύναται να αξιοποιηθεί στο

στατιστικό πακέτο SPSS 19 για την επιλογή των μεταβλητών εισόδου είναι η χρήση του ποσοστού συνεισφοράς της κάθε μεταβλητής στο μοντέλο, έτσι ώστε οι παράμετροι με μικρό ποσοστό, στο επόμενο μοντέλο να μη συμπεριληφθούν.

Στην παρούσα εργασία δουλέψαμε με τέσσερα διαφορετικά σύνολα μεταβλητών εισόδου για καθένα από τα οποία κάναμε 20 επαναλήψεις και επιλέξαμε εκείνο το μοντέλο που αντιστοιχούσε στο μικρότερο άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων (Sum of Squares Error – SSE) του υποσυνόλου πιστοποίησης. Ξεκινήσαμε με το πρώτο σύνολο να αποτελείται από όλες τις μεταβλητές και σύμφωνα με τον πίνακα σημαντικότητας της κάθε μιας μεταβλητής, απαλείφονταν τιμές με τη μικρότερη σημαντικότητα, προχωρώντας έτσι στο επόμενο στάδιο της διαδικασίας έχοντας ολοένα και λιγότερες μεταβλητές.

### 3.2.1 Πρώτο σύνολο κόμβων εισόδου.

Στην πρώτη περίπτωση ως κόμβοι εισόδου ορίστηκαν οι παράμετροι:

- α) ηλεκτρική Αγωγιμότητα του νερού – EC<sub>w</sub>,
- β) θερμοκρασία νερού – T,
- γ) ποσοστό κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου – DO %,
- δ) ενεργός οξύτητα – pH,
- ε) νιτρικά – NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,
- στ) αμμωνιακά NH<sub>4</sub><sup>+</sup>,
- ζ) ο ολικός φωσφόρος TP,
- η) παροχή – Q

Ουσιαστικά όλες οι παράμετροι για τις οποίες υπάρχουν μετρήσεις, εκτός την παράμετρο εξόδου (διαλυμένο οξυγόνο –DO). Όπως προαναφέρθηκε έγιναν 20 επαναλήψεις, από τις οποίες οι πέντε «καλύτερες» (με το μικρότερο άθροισμα τετραγώνων των σφαλμάτων για το σύνολο εκπαίδευσης (training) και για το σύνολο πιστοποίησης (testing) παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1 Άθροισμα τετραγώνων των σφαλμάτων πρώτου συνόλου κόμβων εισόδου

	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5
Training SSE	13,22	10,858	13,506	9,401	15,209
Testing SSE	5.872	4,623	3,46	2,366	2,98

Όπως παρατηρείται στον παραπάνω πίνακα ακριβέστερο είναι το τέταρτο μοντέλο (test 4) με άθροισμα τετραγώνων 9,401 για το σύνολο εκπαίδευσης και 2,366 για το σύνολο πιστοποίησης.

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται κατά αντιστοιχία η σημαντικότητα των κόμβων εισόδου, για τις πέντε καλύτερες επαναλήψεις.

Πίνακας 2 Σημαντικότητα κόμβων εισόδου του πρώτου συνόλου

	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5
ECw	5,9%	8,6%	11,8%	<b>21,2%</b>	14,2%
pH	1,6%	11,0%	8,6%	15,1%	10,2%
T	94,7%	82,4%	74,8%	<b>84,2%</b>	85,3%
DO %	100,0%	100,0%	100,0%	<b>100,0%</b>	100,0%
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7,1%	14,3%	13,6%	<b>19,9%</b>	17,2%



NH <sup>+</sup> <sub>4</sub>	9,6%	14,0%	13,8%	18,4%	11,6%
TP	12,3%	9,9%	8,5%	17,8%	9,4%
Q	11,7%	13,8%	11,8%	18,4%	10,7%

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 2 την μεγαλύτερη ακρίβεια ή αξία για το test 4 παρουσιάζουν οι παράμετροι ποσοστό διαλυμένου οξυγόνου (100%), θερμοκρασία (84,2%), ηλεκτρική αγωγιμότητα (21,2%) και νιτρικά (19,9%). Βέβαια αξίζει να παρατηρήσουμε ότι με μικρή διαφορά ακολουθούν οι παράμετροι αμμωνιακά (18,4%) και παροχή (18,4%), πράγμα το οποίο δικαιολογεί τα δύο επόμενα βήματα που περιγράφουμε. Αξίζει να αναφερθεί ωστόσο το πόσο σημαντικό ρόλο παίζουν οι παράμετροι στο τελικό αποτέλεσμα. Για να θεωρηθεί το αποτέλεσμα ακριβές, όπως γίνεται άλλωστε και στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, όπως αναφέρθηκε και στην παρούσα διατριβή, οι παράμετροι μελετώνται και πολλές φορές βοηθούν στην υλοποίηση του τελικού στόχου όποιος και αν είναι αυτός.

### 3.2.2 Δεύτερο σύνολο κόμβων εισόδου

Σα δεύτερο σύνολο κόμβων εισόδου επιλέχθηκαν οι παράμετροι

- α) ποσοστό κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου DO%,
- β) θερμοκρασία νερού T,
- γ) ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού EC<sub>w</sub>,
- δ) νιτρικά NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Ο τρόπος επιλογής τους στηρίχθηκε όπως αναφέραμε στα ποσοστά συνεισφοράς τους στο πλήρες μοντέλο της προηγούμενης παραγράφου.

Ομοίως και στην περίπτωση αυτή εφαρμόστηκαν 20 επαναλήψεις. Από αυτή την διαδικασία προέκυψαν πέντε ιδανικές περιπτώσεις οι οποίες είχαν το μικρότερο άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων για το σύνολο εκπαίδευσης (training) και για το σύνολο πιστοποίησης (testing). Αυτές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 3).

Πίνακας 3 Αθροίσματα τετραγώνων των σφαλμάτων δεύτερου συνόλου κόμβων εισόδου.

	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5
Training SSE	10,824	11,099	11,661	15,231	10,102
Testing SSE	3,397	5,304	4,772	5,7	2,543

Ακριβέστερο είναι το πέμπτο μοντέλο με άθροισμα τετραγώνων 10,102 για το σύνολο εκπαίδευσης και 2,543 για το σύνολο πιστοποίησης.

Οι αντίστοιχες ποσοστιαίες μεταβλητές των κόμβων εισόδου, καταγράφονται στον επόμενο πίνακα 4:

Πίνακας 4 Σημαντικότητα κόμβων εισόδου του δεύτερου συνόλου

	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5
ECw	3,2%	7,3%	19,7%	27,7%	<b>21,7%</b>
T	85,6%	80,0%	83,4%	63,2%	<b>87,0%</b>
DO % <sub>tr</sub>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	<b>100,0%</b>
NO <sub>3</sub>	6,0%	6,6%	16,7%	16,1%	<b>15,4%</b>

Οι παράμετροι ποσοστό διαλυμένου οξυγόνου (100%), θερμοκρασία (87,0%) και ηλεκτρική αγωγιμότητα (21,7%), όπως φαίνεται από τον πίνακα 4, έχουν τη μεγαλύτερη σημαντικότητα για το test 5, ενώ τα νιτρικά με ποσοστό 15,4% έχει τη μικρότερη. Παρατηρούμε ότι και στους πέντε καλύτερους ελέγχους, το ποσοστό κορεσμού και η θερμοκρασία συμμετέχουν με τα μεγαλύτερα ποσοστά, ενώ για την περίπτωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των νιτρικών, τα ποσοστά διαφοροποιούνται. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις (test 2,3,4,5) το ποσοστό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, είναι μεγαλύτερο από αυτό που αντιστοιχεί στα νιτρικά.

### 3.2.3 Τρίτο σύνολο κόμβων εισόδου

Στην προσπάθεια περαιτέρω βελτίωσης του μοντέλου δοκιμάσαμε επίσης ως κόμβους εισόδου τις παραμέτρους: ποσοστό κορεσμού – DO%, θερμοκρασία – T, ηλεκτρική αγωγιμότητα – Ecw και παροχή –Q η οποία στο πρώτο σύνολο δεδομένων παρουσίαζε αρκετά υψηλή σημαντικότητα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 5:

Πίνακας 5 Αθροίσματα τετραγώνων των σφαλμάτων τρίτου συνόλου κόμβων εισόδου

	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5
Training SSE	10,682	11,180	<b>10,068</b>	15,134	14,634
Testing SSE	4,414	7,173	<b>2,223</b>	5,8	6,346

Βάσει των τιμών των αθροισμάτων τετραγώνων του συνόλου εκπαίδευσης και του συνόλου ελέγχου, καλύτερα αποτελέσματα έδωσε ο τρίτος έλεγχος, με τιμές 10,068 και 2,223 αντίστοιχα.

Ο πίνακας 6 δείχνει τις τιμές της σημαντικότητας των παραμέτρων του τρίτου συνόλου κόμβων εισόδου.

Πίνακας 6 Σημαντικότητα κόμβων εισόδου του τρίτου συνόλου

	Σημαντικότητα των κόμβων εισόδου				
	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5
ECw	4,5%	4,2%	<b>10,3%</b>	7,7%	9,7%
T	73,8%	74,6%	<b>86,0%</b>	67,4%	82,3%
DO %	100,0%	100,0%	<b>100,0%</b>	100,0%	100,0%
Q	2,8%	6,5%	<b>5,7%</b>	5,1%	3,4%

Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε ότι τη μεγαλύτερη σημαντικότητα παρουσιάζουν οι παράμετροι ποσοστό διαλυμένου οξυγόνου (100%), θερμοκρασία (86,0%) και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (10,3%). Αξιοσημείωτο είναι ότι το ποσοστό σημαντικότητας της παραμέτρου παροχή είναι το χαμηλότερο σε όλους τους ελέγχους, με μοναδική εξαίρεση τον έλεγχο δύο (πίνακας 6).

### 3.2.4 Τέταρτο σύνολο κόμβων εισόδου.

Στην τέταρτη προσπάθεια βελτίωσης του μοντέλου οι παράμετροι τις οποίες χρησιμοποιήσαμε σαν κόμβους εισόδου είναι: ποσοστό διαλυμένου οξυγόνου–DO %, θερμοκρασία – T και ηλεκτρική αγωγιμότητα – EC<sub>w</sub>. Επιλέξαμε αυτές τις παραμέτρους σαν κόμβους εισόδου για δύο κυρίως λόγους:

- 1) Βάσει των προηγούμενων ελέγχων που κάναμε, παρατηρήσαμε ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν στις περισσότερες περιπτώσεις από τις παραμέτρους με την μεγαλύτερη σημαντικότητα, μετά το ποσοστό κορεσμού και τη θερμοκρασία.
- 2) Από τη βιβλιογραφία (Σέντας 2007) γνωρίζουμε ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι από τις παραμέτρους που έχουν υψηλό δείκτη συσχέτισης με το διαλυμένο οξυγόνο. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 7):

Πίνακας 7 Αθροίσματα τετραγώνων των σφαλμάτων τέταρτου συνόλου κόμβων εισόδου

	<b>test 1</b>	<b>test 2</b>	<b>test 3</b>	<b>test 4</b>	<b>test 5</b>
Training SSE	10,663	13,642	13,759	<b>9,423</b>	9,787
Testing SSE	5,685	4,256	3,724	<b>3,47</b>	6,989

Όπως παρατηρούμε ο έλεγχος 4 έχει την μικρότερη τιμή του αθροίσματος τετραγώνων των σφαλμάτων, με τιμή 3,47 που είναι η μικρότερη τιμή που έχουμε βρει σε όλους τους ελέγχους.

Η σημαντικότητα των παραμέτρων του τέταρτου συνόλου κόμβων εισόδου, παρουσιάζεται στον πίνακα 8.

Πίνακας 8     Σημαντικότητα κόμβων εισόδου του τέταρτου συνόλου

	Σημαντικότητα των κόμβων εισόδου				
	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5
ECw	1,5%	15,4%	1,6%	<b>2,8%</b>	2,8%
T	88,1%	61,2%	85,6%	<b>87,0%</b>	70,1%
DO_per	100,0%	100,0%	100,0%	<b>100,0%</b>	100,0%

Από την προηγούμενη μεθοδολογία, γίνεται φανερό ότι τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην κατασκευή του νευρωνικού δικτύου έχουν κυρίως η θερμοκρασία, το ποσοστό κορεσμού και σε μικρότερο βαθμό η ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Για τις παραπάνω παραμέτρους εφαρμόστηκε ανάλυση συσχέτισης (CorrelationAnalysis) σε αντίστοιχη διπλωματική διατριβή (Σέντας 2007), βάσει της οποίας υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ όλων των παραμέτρων που χρησιμοποιείται στην παρούσα διατριβή. Τα αποτελέσματα της CorrelationAnalysis έδειξαν ότι το διαλυμένο οξυγόνο συσχετίζεται σημαντικά μόνο με τις παραμέτρους ηλεκτρική αγωγιμότητα, θερμοκρασία και ποσοστό κορεσμού. Αναλυτικότερα:

α) Διαλυμένο οξυγόνο – Ηλεκτρική αγωγιμότητα, θετική συσχέτιση  $r = 0,177$

β) Διαλυμένο οξυγόνο – Θερμοκρασία, αρνητική συσχέτιση  $r = -0,359$

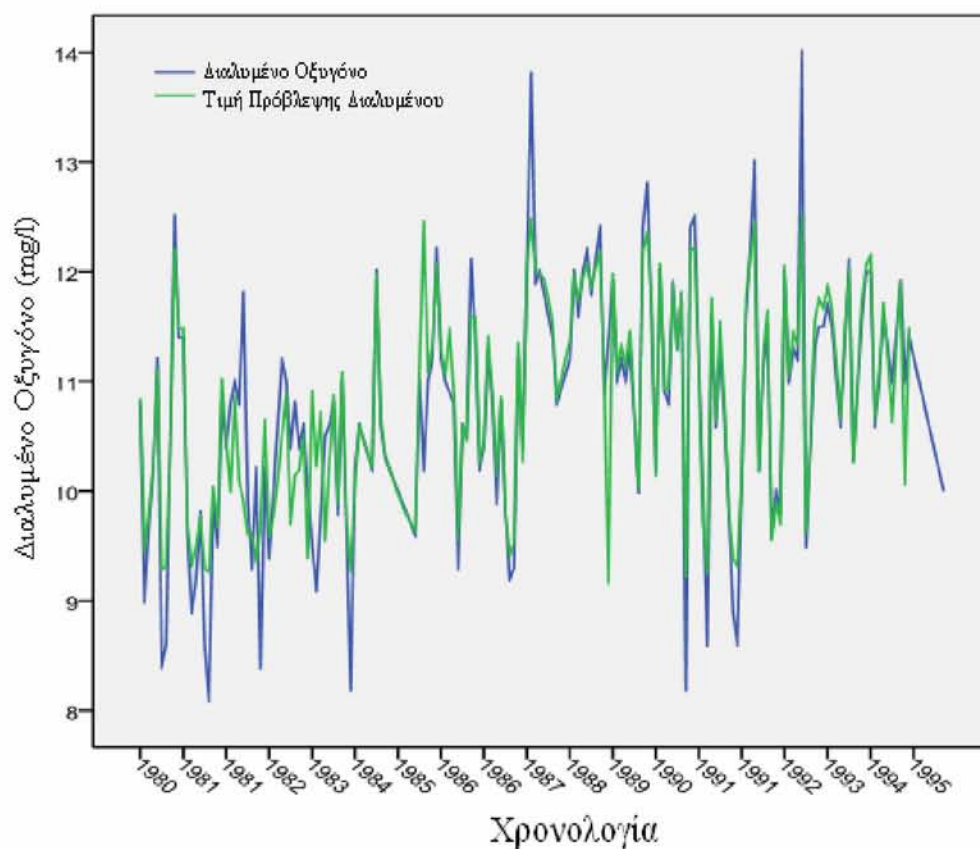
γ) Διαλυμένο οξυγόνο – Ποσοστό κορεσμού, θετική συσχέτιση  $r = 0,518$

Όπως παρατηρούμε υψηλή συσχέτιση υπάρχει μεταξύ διαλυμένου οξυγόνου, ποσοστό κορεσμού και θερμοκρασίας, ενώ μικρότερη αλλά βαρύνουσας σημασίας είναι η συσχέτιση μεταξύ διαλυμένου οξυγόνου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Τα

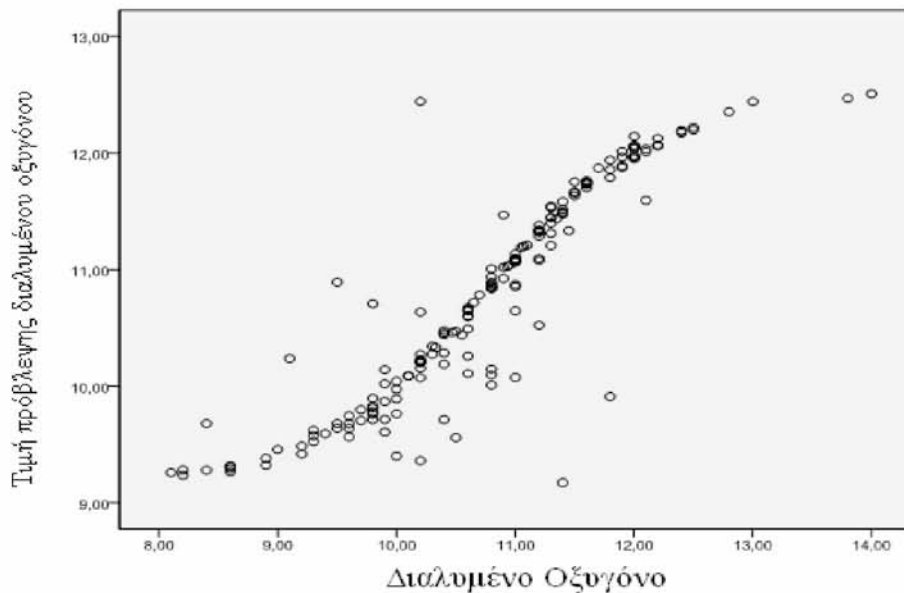
παραπάνω συμπεράσματα συμφωνούν με την μεθοδολογία η οποία εφαρμόστηκε για την προσαρμογή νευρωνικού δικτύου και βοηθά στην επιλογή ως τελικού μοντέλου τον έλεγχο τέσσερα, από το τέταρτο σύνολο παραμέτρων εισόδου.

### 3.3 Προτεινόμενο μοντέλο

Το τελικό προτεινόμενο μοντέλο είναι ένα νευρωνικό δίκτυο το οποίο αποτελείται από τρεις κόμβους εισόδου, ένα κρυφό επίπεδο και ένα κόμβο εξόδου. Στο σχήμα 1 δίνονται οι πραγματικές και οι εκτιμώμενες τιμές της χρονοσειράς του διαλυμένου οξυγόνου, ενώ στο σχήμα 2 δίνεται το διάγραμμα διασποράς τους οι οποίες προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου που αναφέρεται σύμφωνα με την εφαρμογή της λειτουργίας του ελέγχου 4 που αναφέρεται στην παράγραφο 3.2.



Σχήμα 1 Πραγματικές και εκτιμώμενες τιμές της χρονοσειράς διαλυμένου οξυγόνου. Με μπλε είναι η πραγματική τιμή ενώ με πράσινο η τιμή που προέκυψε από την χρήση του νευρωνικού δικτύου.



Σχήμα 2 Τιμές που προέκυψαν από την πρόβλεψη του διαλυμένου οξυγόνου συγκριτικά με αυτές που ήδη είχαμε λάβει κατά την εκπόνηση της πτυχιακής διατριβής. Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των πραγματικών και των προβλεπόμενων βάσει του μοντέλου τιμών του διαλυμένου οξυγόνου, είναι  $r = 0,897$  που θεωρείται ικανοποιητικός.



#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο στην διάθεση των ερευνητών αφού βοηθούν τόσο στην μοντελοποίηση διαφόρων ειδών παραμέτρων, όσο και στην πρόβλεψη. Με την μοντελοποίηση ουσιαστικά γίνεται εφικτή η παρουσίαση των στοιχείων σε γραφήματα, ραβδογράμματα, διαγράμματα διασποράς και άλλα, τα οποία με την σειρά τους βοηθούν στο να επιτευχθεί μια καλύτερη κατανόηση των παραμέτρων. Παράλληλα η πρόβλεψη βοηθά στην μελλοντική εκτίμηση και αποτίμηση των παραμέτρων οι οποίες οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με τον επικείμενο σκοπό της εκάστοτε έρευνας. Η πρόβλεψη, είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο αφού βοηθά στην αποφυγή μελλοντικών κινδύνων, όπως ακραία φαινόμενα πλημμυρών ή ξηρασίας, ρύπανση και άλλα.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, οι παράμετροι, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, αποτελούν στοιχεία τα οποία απαιτούν μεγάλη εξειδίκευση στην κατανόηση τους πόσο μάλλον όταν συνδυάζονται με σκοπό να προκύψει κάποιο ανάλογο αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα, στην εργασία αυτή οι παράμετροι ήταν τόσο φυσικοί όσο και χημικοί, κάτι το οποίο αποδεικνύει την δυσκολία εφαρμογής τους. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, καθώς μελετώντας την σχετική βιβλιογραφία (γίνεται αναφορά στο κεφάλαιο 2) προκύπτει ένα ενδεχομένως επιθυμητό αποτέλεσμα στην πλειοψηφία των περιπτώσεων με πολλούς διαφορετικούς τύπους παραμέτρων και περιοχών εφαρμογής τους.

Η εφαρμογή τους έγινε μέσω του στατιστικού προγράμματος SPSS 19, και αυτό διότι, αρχικά έγινε μια προσπάθεια εφαρμογής των νευρωνικών δικτύων στην περιοχή μελέτης με δυο τρόπους οι οποίοι δεν ευδοκίμησαν. Συγκεκριμένα, η πρώτη προσπάθεια εφαρμογής τους έγινε μέσω ενός αλγορίθμου ο οποίος ήταν δυσνόητος τόσο στην ανάλυσή του, όσο και στην χρήση του αφού απαιτούσε εξειδικευμένες γνώσεις προγραμματισμού και τεχνητής νοημοσύνης. Έπειτα, η προσπάθεια εφαρμογής τους έγινε μέσω του προγράμματος JMP 8, το οποίο όμως με την σειρά του απέδειξε την μη προσαρμοστικότητα του στα δεδομένα της διατριβής, όπως επίσης οδήγησε και σε ένα αναπάντητο ερώτημα. Το αν δηλαδή η όλη διαδικασία αφορούσε χρήση Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου ή απλά μια στατιστική εφαρμογή και χρήση πολυδιάστατων χρονοσειρών. Έτσι προέκυψε η χρήση του στατιστικού προγράμματος SPSS 19, το οποίο περιλαμβάνει κατάλληλα ενσωματωμένες υπορουτίνες και είναι εύκολο στη χρήση του και κατανοητό τόσο στην εισαγωγή και επεξεργασία των δεδομένων, όσο και στην εξαγωγή και εγκυρότητα των αποτελεσμάτων.

Στην διατριβή αυτή αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να οριστεί ως επίπεδο εξόδου (άγνωστη μεταβλητή) η τιμή της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου (DO), αφού αποτελεί βασική παράμετρο των υδατικών οικοσυστημάτων, όπως επίσης και απαραίτητο στοιχείο για τον μεταβολισμό όλων το αερόβιων οργανισμών που διαβιούν στο νερό. Επίσης οι υπόλοιπες τιμές, όπως η παροχή, η θερμοκρασία, η συγκέντρωση των θρεπτικών είναι μεταβλητές που επηρεάζουν τη συγκέντρωση της τιμής του διαλυμένου οξυγόνου και για το λόγο αυτό και με τη βοήθεια της βιβλιογραφίας, επιλέχθηκε η παράμετρος αυτή. Οι υπόλοιπες παράμετροι εισήχθησαν στο πρόγραμμα με σκοπό την χρήση τους ως

«covariates», δηλαδή παράμετροι μέσω των οποίων θα προέκυπταν οι άγνωστες τιμές του διαλυμένου οξυγόνου κατά ποσοστιαίες μονάδες. Από την διαδικασία των αποτελεσμάτων προηγήθηκε μια ανάλυση συσχετίσεων έτσι ώστε να μελετηθεί το κατά πόσο επηρεάζονται οι τιμές από την προεπιλεγμένη τιμή εξόδου (το διαλυμένο οξυγόνο). Αξίζει να αναφερθεί πως με την χρήση τους επιλύεται ως συνήθως ένα πρόβλημα χωρίς να απαιτείται γνώση των νόμων που διέπουν κάποιο φαινόμενο.

Στην διαδικασία την χρήσης του νευρωνικού χωρίστηκαν τα δεδομένα σε τέσσερα διαφορετικά σύνολα μεταβλητών εισόδου, στα οποία εφαρμόστηκαν 20 επαναλήψεις. Ως ορθότερο επιλέχθηκε αυτό με το μικρότερο άθροισμα τετραγωνικού σφάλματος του γενικού υποσυνόλου. Επομένως αναδεικνύεται από την χρήση των νευρωνικών η αλληλοσυσχέτιση μεταξύ παραμέτρων που θα θεωρούνταν ως ανεξάρτητες, όπως επίσης και η μεγάλη ευστοχία στην πρόβλεψη της τιμής του διαλυμένου οξυγόνου που θεωρήθηκε ως άγνωστη τιμή. Έτσι επιλέχθηκε ο τρόπος ο οποίος εμφάνιζε το μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας, όπως φαίνεται στους Πίνακες 7 & 8 (3<sup>ο</sup> κεφ.).

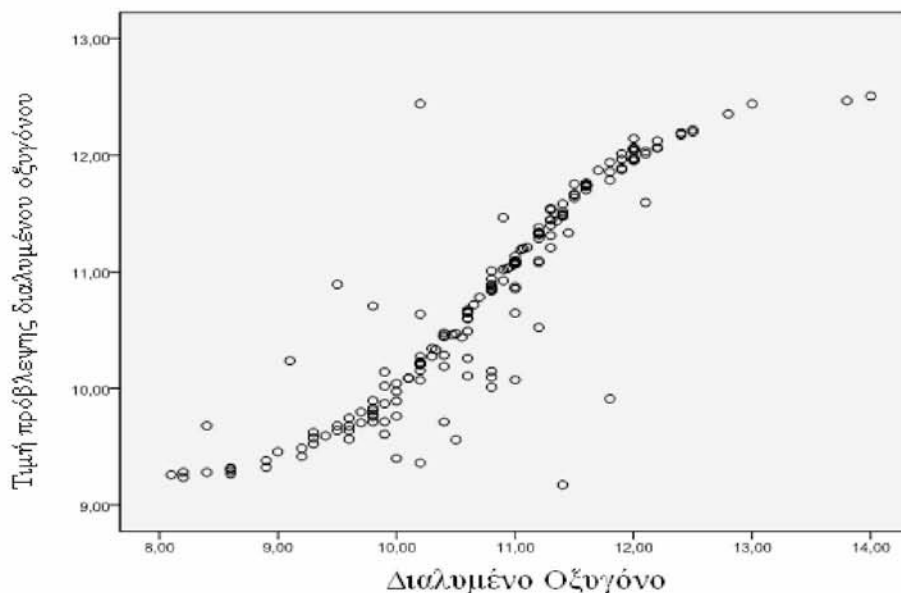
Πίνακας 7 (3<sup>ο</sup> κεφ.) Αθροίσματα τετραγώνων των σφαλμάτων τέταρτου συνόλου κόμβων εισόδου

Έλεγχος 4	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5
<b>Training SSE</b>	10,663	13,642	13,759	<b>9,423</b>	9,787
<b>Testing SSE</b>	5,685	4,256	3,724	<b>3,47</b>	6,989

Πίνακας 8(3<sup>ο</sup> κεφ.) Σημαντικότητα κόμβων εισόδου του τέταρτου συνόλου

	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5
ECw	1,5%	15,4%	1,6%	<b>2,8%</b>	2,8%
T	88,1%	61,2%	85,6%	<b>87,0%</b>	70,1%
DO_per	100,0%	100,0%	100,0%	<b>100,0%</b>	100,0%

Τέλος, από το διάγραμμα διασποράς μεταξύ της προβλεπόμενης και της υπάρχουσας τιμής του διαλυμένου οξυγόνου προκύπτει πως, ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των πραγματικών τιμών και των προβλεπόμενων τιμών είναι  $r=0,897$ . Αν θεωρηθεί πως το 1 είναι το ιδανικότερο αποτέλεσμα σε τιμές συσχέτισης τότε γίνεται κατανοητό πως το αποτέλεσμα ήταν άκρως ικανοποιητικό (Σχήμα 2, από 3<sup>ο</sup> κεφ.).



Σχήμα 2 Τιμές που προέκυψαν από την πρόβλεψη του διαλυμένου οξυγόνου συγκριτικά με αυτές που ήδη είχαν ληφθεί κατά την εκπόνηση της πτυχιακής διατριβής.

Έτσι προκύπτει πως η χρήση των νευρωνικών δικτύων αποτελεί ένα αναπόσπαστο εργαλείο σε εφαρμογές υδρολογίας αφού προβλέπει με μεγάλη ακρίβεια τιμές που θεωρούνται σε πολλές περιπτώσεις άγνωστες. Μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε μια σειρά περιβαλλοντικών προβλημάτων και να προβλέψει ή να αποτρέψει μελλοντικούς περιβαλλοντικούς κινδύνους εάν χρησιμοποιηθεί με τον κατάλληλο τρόπο συμβάλλοντας έτσι στην αειφόρο ανάπτυξη.

Είναι ιδιαίτερα ουσιαστική η αναφορά στην επίλυση προβλημάτων με την χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων σε μια διατριβή η οποία έχει μια πληθώρα στοιχείων με μεγάλο εύρος (όπως στην περίπτωση της διατριβής χρονοσειρές πολλών ετών), αφού επιτρέπει την αξιοποίηση τους με τέτοιο τρόπο που προβλέπει άγνωστες μελλοντικές τιμές. Υπάρχει μια μεγάλη διαφορά της χρήσης τους με άλλες μεθόδους πρόβλεψης και μοντελοποίησης αφού είναι ιδιαίτερα εύκολα στην χρήση τους.

Τα αρνητικά στοιχεία που προκύπτουν από την εφαρμογή των νευρωνικών είναι ότι σε ιδιάζουσες περιπτώσεις δεν επιτυγχάνουν το επιθυμητό αποτέλεσμα, όταν δηλαδή τα στοιχεία δεν έχουν την έκταση που απαιτείται για να στηριχθεί η μέθοδος σ' αυτά. Για τον λόγο αυτό δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε περίπτωση.

Είναι λοιπόν ένα εργαλείο, το οποίο αποτελεί μια ορθή επιλογή σε περιπτώσεις με μεγάλο όγκο παρατηρήσεων, με πολύ καλές προβλέψεις και με το χαρακτηριστικό του «μαύρου κουτιού» - «blackbox» όπου πολύπλοκες φυσικές διεργασίες εισάγονται και εξάγονται ως σημεία εισόδου και εξόδου με αντίστοιχους συντελεστές βάρους, από την αυξομείωση των οποίων οδηγείται το μοντέλο στο

βέλτιστο αποτέλεσμα. Η εκπαίδευση – «training» του δικτύου ουσιαστικά γίνεται μόνο με την εισαγωγή των παραμέτρων ως σημεία εισόδου και εξόδου.

Προσφέρουν ευκολία υλοποίησης του στόχου, αξιόπιστη λειτουργία αφού τα αποτελέσματα μπορούν να μην συμπεριληφθούν εφόσον δεν συνάδουν με τον επικείμενο σκοπό της εκάστοτε εργασίας, όπως επίσης και την ακαριαία απόκριση κατά την φάση πραγματικής λειτουργίας εφόσον το νευρωνικό υλοποιηθεί σε λογισμικό όπως το στατιστικό πρόγραμμα SPSS 19.

Ο Πηνειός αποτελεί μια από τις σημαντικότερες υδρολογικές λεκάνες στον Ελλαδικό χώρο, και για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης για την παρούσα διατριβή. Οι κλάδοι οι οποίοι επηρεάζονται άμεσα σε περίπτωση που ο ποταμός δεν λειτουργεί ικανοποιητικά είναι πολλοί (αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 2), και για τον λόγο αυτό, η άρτια και αειφορική διαχείριση του είναι ιδιαίτερως σημαντική. Αυτό το οποίο ουσιαστικά θα πρέπει να εφαρμοστεί στον ποταμό προς αποφυγή των αρνητικών επιδράσεων είναι η σωστή διαχείριση του ποταμού σε θέματα ρύπανσης, υπεραλίευσης, καθώς και ορθής διαχείρισης των φραγμάτων. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν ιδιαίτερες περιπτώσεις καθώς οι υπαίτιοι για την κατάσταση του ποταμού είναι αρκετοί και για τον λόγο αυτό θα πρέπει να υπάρξει διάθεση τόσο από την πολιτεία, όσο και από πολίτες οι οποίοι διαβιούν στο περιβάλλον και απολαμβάνουν τους πόρους που παρέχει ο ποταμός.

Στην παρούσα διατριβή, στόχος ήταν η εφαρμογή των τεχνητών νευρωνικών δικτύων σε δεδομένα του Πηνειού ποταμού. Σκοπός ήταν η δημιουργία μοντέλων αξιοποιώντας τις 9 παραμέτρους που υπήρχαν, έτσι ώστε να αποδειχθεί το αν η χρήση των νευρωνικών δικτύων μπορεί να εφαρμοστεί με ακρίβεια σε τόσο πολλά δεδομένα και με τόσο διαφορετική σημαντικότητα για το υδρόβιο περιβάλλον. Το

αποτέλεσμα που προέκυψε ήταν πως τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν μια ιδανική λύση σε περιπτώσεις μελετών όπου τα στοιχεία είναι τόσο πολλά σε αριθμό όσο και αν διαφέρει ο εκάστοτε σκοπός. Παράλληλα, αυτό στο οποίο κατέληξε η μελέτη είναι πως το διαλυμένο οξυγόνο μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια συντελεστού συσχέτισης 0,897 από στοιχεία όπως η θερμοκρασία (T), το ποσοστό διαλυμένου οξυγόνου στο νερό (DO %), και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECW). Άρα γίνεται κατανοητό πως σε περίπτωση που ένα από τα δεδομένα που χρειάζονται για την οποιαδήποτε μελέτη δεν υπάρχει, τότε τα νευρωνικά έχουν μεγάλο ποσοστό επιτυχίας πρόβλεψης του ζητούμενου, σε περίπτωση πάντα που υπάρχουν όλα τα κατάλληλα δεδομένα.

Θα μπορούσε λοιπόν η χρήση τους να εφαρμοστεί σε πολλών ειδών περιπτώσεις οι οποίες σχετίζονται με την αειφορική ανάπτυξη και την περιβαλλοντική διατήρηση σε υδατικά οικοσυστήματα τόσο με την πρόβλεψη η οποία εφαρμόζεται μέσα από αυτά, όσο και με την μοντελοποίηση διαφόρων ειδών παραμέτρων. Γίνεται κατανοητό λοιπόν πως αποτελούν ένα εργαλείο τόσο για την έρευνα σε τομείς της υδρολογίας, του διαχείρισης του περιβάλλοντος, της μελέτης φυσικών κινδύνων (πλημμύρες, ρύπανση) όσο και για την κατανόηση των φυσικών και ανθρωπογενών επιπτώσεων στο περιβάλλον.

## 5.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΑΓΓΛΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abudu S., King P., Shen Z. (2012) Comparison of the performace of statistical models in forecasting monthly dissolved solids in the Rio Grande. *Journal of the American Water Resources Association*, 48:1
2. Bellos D., Sawidis T. (2005) Chemical pollution monitoring of the River Pinios (Thessalia-Greece). *Journal of Environmental Management*, 76: 282-292
3. BellosD.,Sawidis T., Tsekos I. (2004) Nutrient chemistry of River Pinios (Thessalia, Greece). *Environment International*, 30: 105-115
4. Brosse S., Giraudel J.L., Lek S. (2001) Utilisation of non-supervised neural networks and principal component analysis to study fish assemblages. *Ecological Modelling*, 146: 159-166
5. Brosse S., Guegan J. F., Tourenq J. N., Lek S. (1999) The use of artificial neural networks to assess fish abundance and spatial occupancy in the littoral zone of a mesotrophic lake. *Ecological Modelling*, 120: 299-311
6. Calow P., Petts G. E. (1996) *The river handbook vol 2 "Water Quality Monitoring"*.Blackwell science, pp. 523
7. Dawson C.W., Wilby R.L. (2001) Hydrological modeling using artificial neural networks. *Progress in Physical Geography*, 25: 80-108
8. Faruk D. O. (2010) A hybrid neural network and ARIMA model for water quality time series prediction. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23: 586-594



9. Fytianos K., Siumka A., Zachariadis A., Beltsios S. (2002) Assessment of the quality characteristics of Pinios River, Greece. *Water, Air, and soil Pollution*, 136: 317-329.
10. Haralabous J., Georgakarakos S. (1996) Artificial neural networks as a tool for species identification of fish schools. *Journal of Marine Science*, 53: 173-180
11. Huo Z., Feng S., Kang S., Huang G., Wang F., Guo P. (2012) Integrated neural networks for monthly river flow estimation in arid inland basin of Northwest China. *Journal of hydrology*, 420-421: 159-170
12. Huo Z., Feng S., Kang S., Huang G., Xang F., Guo P. (2012) Intergrated neural networks for montly river flow estimation in arid inland basin of Northwest China. *Journal of Hydrology*, 420-421: 159-170
13. IBM (2010) IBM SPSS Statistics 19 Core system User's Guide. SPSS Inc, p. 444.
14. Imrie C.E., Durucan S., Korre, A. (2000) River flow prediction using artificial neural networks: generalization beyond the calibration range. *Journal of hydrology*, 233: 138-153
15. Kourakos G., Mantoglou A. (2009) Pumping optimization of coastal aquifers on evolutionary algorithms and surrogate modular neural network models. *Advances in Water Resources*, 32:507-521
16. Loukas A. (2010) Surface of water quantity and quality assessment in Pinios River, Thessaly, Greece. *Desalination*, 250: 266-273.
17. Maier H. R., Dandy G. C.(2000) Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modeling issues and applications. *Environmental Modeling & Software*, 15: 101-124.

18. Mastrorillo S., Lek S., Dauba F., Belaud A. (1997) The use of artificial neural networks to predict the presence of small-bodied fish in a river. *Freshwater Biology*, 38: 237-246
19. Najah A., Shafie E., Karim O. A., El shafie A. (2011) Application of artificial neural networks for quality prediction. *Neural Computing and Application*, 3: 1-15
20. Najah A., Elshafie A., Karim A. O., Jaffar O. (2009) Prediction of Johor River Water Quality Parameters Using Artificial Neural Networks. *European Journal of Scientific Research*, 28: 422-435
21. Newbury P.F., Culverhouse P. F., Pilgrim D. A. (1995) Automatic fish population counting by artificial neural network. *Aquaculture*, 133: 45-55
22. Psilovikos Ar., Margoni S & Psilovikos Ant. (2006) Simulation and Trend Analysis of the Water Quality Monitoring Daily Data in Nestos River Delta. Contribution to the Sustainable Management and Results for the years 2000 – 2002. *Environmental Monitoring and Assessment*, 116, 1–3, 543 – 562.
23. Sawidis T. (1997) Chemical pollution monitoring of River Pinios in the Mediterranean Climatic Region. *Toxicological Environmental Chemistry*, 62: 217-227
24. Sivakumar B., Jayawarden W. A. (2002) River flow forecasting: use of phase space reconstruction and artificial neural networks approaches. *Journal of hydrology*, 265: 225-245
25. Storbeck F., Berent D. (2001) Fish species recognition using computer vision and a neural network. *Fisheries Research*, 51: 11-15
26. Suryanarayana I., Braidanti A., Rao R.S., Ramam A.V., Sudarsan D., Rao G. N. (2008) Neural networks in fisheries research. *Fisheries Research*, 2008: 115-139

27. Tan O. C., Beklioglu M. (2006) Modeling complex nonlinear responses of shallow lakes to fish and hydrology using artificial neural networks. *Ecological Modelling*, 196: 183-194
28. Wang H., Gao Y.(2011) Elman's Recurrent Neural Network Applied to Forecasting the Quality Of Water Diversion in the Water Source of Lake Taihu. *Environment and Chemistry*, volume 1
29. Watts M.J., Li Y., Russell B.D., Mellin C., Connell S.D., Fordham D.A. (2011) A novel method for mapping reef and subtidal rocky habitats using artificial neural networks. *Ecological Modelling*, 222: 2606-2614
30. Wetzel R. G. (2001) *Limnology. Lake and River Ecosystems*. Third edition. 1006 pp.

#### ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αντωνόπουλος Β. Ζ. (2003) Υδραυλική Περιβάλλοντος. Εκδόσεις Γιαχούδη, σελ. 491.
2. Καραμπερίδου Χ. (2007) Βελτιστοποίηση εκμετάλλευσης υπόγειων υδατικών πόρων με χρήση νευρωνικών δικτύων. Μεταπτυχιακή Διατριβή, σελ. 46
3. Καραμπερίδου Χ., Βαφειάδης Μ., Κατσιφαράκης Κ. (2010) Διαχείριση παράκτιων υδροφορέων με χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων. *Τεχν. Χρον. Επιστ.*, 2
4. Κοτοπούλη Μ., Ψιλοβίκος Αρ., Γκιτσάκης Ν., Σαπουντζής Μ., Δήμος Γ.(2006) Προσομοίωση χρονοσειράς μηνιαίου ύψους βροχής τους βροχομετρικού σταθμού Νεστορίου Καστοριάς με τη χρήση ανατροφοδοτούμενου (Recurrent) μοντέλου νευρωνικών δικτύων.

5. Κουτσίκος Ν. (2009) Ανάπτυξη και έλεγχος εφαρμογής ενός νέου συστήματος εκτίμησης της κατάστασης των ποταμών της Ελλάδας. Μεταπτυχιακή διατριβή, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, σελ. 237
6. Λιβιέρης Ι. Ε.(2008) Αποτίμηση μεθόδων εκπαίδευσης τεχνητών νευρωνικών δικτύων και εφαρμογές. Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 240
7. Λυκάκης Σ. (1996) Υδροβιολογία. Σ. Αθανασόποθλος, Σ. Παπαδαμής& ΣΙΑ Ε.Ε., σελ. 210
8. Λυμπεροπούλου Α.(2006) Χρήση νευρωνικών δικτύων για την πρόγνωση της συγκέντρωσης τροποσφαιρικού όζοντος σε αστικό περιβάλλον. Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 162
31. Μάργαρης Α.Ι. (2003). Νευρωνικά Δίκτυα και Χάος. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, σελ. 492.
9. Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων.
10. Σέντας Α. (2007) Ανάλυση χρονοσειρών των ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων των υδάτων ποταμών και υδατορευμάτων με τη χρήση μοντέλων ARIMA. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 165.
11. Στουρναρας Γ.Κ. (2007) Νερό: Περιβαλλοντική διάσταση και διαδρομή. Εκδόσεις Τζιόλα, σελ. 664
12. Τσάκας Ε. (2009) Μεταβολές χρήσεων γης και επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Γεωλογικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 171
13. Χατζηνικολάου Γ.(2007) Επίδραση διαχειριστικών πρακτικών στην ποιότητα νερού και στην οικολογία των ποταμών της Ελλάδας. Ο Πηνειός (Θεσσαλίας) ως ειδική περίπτωση μελέτης. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, σελ. 242

14. Χολέβα Ε. (2007) Η γνώμη των κατοίκων του Δήμου Νεσσώνος για το πόσιμο νερό. Διπλωματική εργασία, Χαροκόπειο πανεπιστήμιο, σελ. 132.

#### ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- HTTP1) [http://www.minagric.gr/Greek/2.9.3.PHNEIOS\\_THES.html](http://www.minagric.gr/Greek/2.9.3.PHNEIOS_THES.html) (14/06/2012)
- HTTP2) [www.larisa-dimos.gr](http://www.larisa-dimos.gr) (15/06/2012)
- HTTP3) <http://www.piniada.gr/pages/piniada/piniada-pinios.htm> (19/06/2012)
- HTTP4) <http://www.minenv.gr/pinios/page5.html> (19/06/2012)
- HTTP5) <http://www.pineiosngo.org/pineios/xartis-interactive/attachment/hartis-piniou> (20/06/2012)
- HTTP6) [http://www.metal.ntua.gr/uploads/3124/9a\\_YDROGRAFICO\\_DIKTYO.pdf](http://www.metal.ntua.gr/uploads/3124/9a_YDROGRAFICO_DIKTYO.pdf) (21/06/2012)
- HTTP7) <http://el.wikipedia.org/wiki/Παροχή> (22/06/2012)
- HTTP8) <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/electric.htm> (23/06/2012)
- HTTP9) [http://kpe-kastor.kas.sch.gr/the\\_lake/wetland/temperature.htm](http://kpe-kastor.kas.sch.gr/the_lake/wetland/temperature.htm) (23/06/2012)
- HTTP10) [http://kpe-kastor.kas.sch.gr/the\\_lake/wetland/acidity.htm](http://kpe-kastor.kas.sch.gr/the_lake/wetland/acidity.htm) (23/06/2012)
- HTTP11) <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/oxygen.htm> (23/06/2012)
- HTTP12) [http://www.uest.gr/notes/ygra\\_apovlita.pdf](http://www.uest.gr/notes/ygra_apovlita.pdf) (23/06/2012)
- HTTP13) [http://www.envifriendly.tuc.gr/gr/docs/valitsaki/4\\_fusikoxhmika\\_xarakthristika.pdf](http://www.envifriendly.tuc.gr/gr/docs/valitsaki/4_fusikoxhmika_xarakthristika.pdf) (23/06/2012)
- HTTP14) <http://gregzer.pbworks.com/f/1259864887/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%B3%CF>

%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CE%BA%CE%AC%20%CE%B4%CE%B9%CE%  
B1%CE%BC%CE%B5%CF%81%CE%AF%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%C  
E%B1%2001.jpg

## ABSTRACT

This study focuses on the application of artificial neural networks at the Pinios River. The data used are timelines of nine physical and chemical parameters, from Piniosriver (Thessaly-Greece). The application was performed through the use of the statistical package SPSS 19, which provides the ability of modeling and forecasting. At first, an introduction on the significance of the aquatic resources in one's life was made, and how the aquatic systems are affected from the extensive use of human interactions resulting in both positive and negative effects. Specifically, information was provided regarding aquatic ecosystems, the importance of water, hydrologic and geographic features of Greece as well as information relating to the area of the study. Through the information provided, it becomes understandable that the importance of these ecosystems is of great matter. Next, information about the use of neural networks is presented, through a series of positive effects in lots of different areas, for example in the field of ichthyology and hydrology thus showing the positive impact of the use of ANN. Furthermore, case studies are presented showing that there is a correlation path with other statistical programs and ANN, helping in a way of comparing results between different studies. In conclusion, what derives from this study is that the modeling results in high positive effects on data which have big complexity and have a large dataset, and this is achieved with high accuracy via artificial neural networks. Also the ability of neural elements in forecasting is particularly successful resulting in recommending ANN's for a variety of applications.

**Keywords:** ANN (artificial neural networks), hydrology, modeling.